

Peningkatan Kualitas *Tailing* Batubara Dengan Metode Flotasi Menggunakan Biosurfaktan dari Lerak (*Sapindusrarak De Candole*)

Enhancing Coal Tailing Quality by Flotation Method Using Biosurfactant from Lerak (*Sapindusrarak De Candole*)

Danang Jaya*, Tunjung Wahyu Widayati, Refina Yuni Mustika and Halim Nur Aziz Suwardi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN Veteran Yogyakarta

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) No.104, Ngropoh, Condongcatur, Yogyakarta 55283 Indonesia

Artikel histori :

Diterima 31 Januari 2020
Diterima dalam revisi 6 Februari 2020
Diterima 20 Maret 2020
Online 31 Maret 2020

ABSTRAK: Limbah dari penambangan batubara yang bercampur dengan sisa hasil pencucian batubara yang dinamakan Batubara *Tailing* (CT) mempunyai nilai kalor rendah dan kandungan sulfur serta abu yang tinggi. Untuk meningkatkan kualitasnya dengan meningkatkan nilai kalornya dan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan menurunkan kadar sulfur dan abunya, maka batubara harus dipisahkan dari pengotornya tersebut, salah satu caranya dengan flotasi. Tujuan utama penelitian adalah meningkatkan kualitas limbah batubara (CT), dengan menaikkan nilai kalornya (menurunkan kandungan sulfur, abu, dan pengotor lainnya) memakai metode flotasi menggunakan lerak (*Sapindusrarak De Candole*) sebagai surfaktan. Dari penelitian ini didapatkan kondisi optimum, yaitu pada ukuran partikel -80/+100 *mesh*, kondisi operasi di pH 6, nilai kalornya meningkat dari mula-mula 3230,171 kalori/gr menjadi 5035,622 kalori/gr, kandungan sulfur menurun hingga kondisi optimum mencapai 2026,08 mg/kg, dan kadar abu menurun dari 54,61% menjadi 33,9%. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa buah Lerak berpotensi sebagai surfaktan untuk meningkatkan kualitas Batubara *Tailing* secara flotasi.

Kata Kunci: *tailing*; lerak (biosurfaktan); flotasi; sulfur; nilai kalor

ABSTRACT: Waste from coal mining that is mixed with the waste of the coal washing product called coals tailing (CT) has a low calorific value, also a high sulfur, and ash content. To upgrade its quality by increasing its calorific value and to reduce environmental pollution by reducing sulfur and its ashes, the coal must be cleaned from its impurities, one of which is by a flotation method. The main objective of the research is to improve the quality of coals tailing (CT) by increasing its calorific value (reducing the content of sulfur, ash, and other impurities) by applying the flotation method, and using lerak (*Sapindusrarak De Candole*) as the surfactant. This research shows that optimal conditions were obtained, at a particle size of -80 / + 100 *mesh* and the operating conditions at pH 6, the calorific value increased from initially 3.230,171 cal/gr to 5.035,622 cal/gr, the sulfur content decreased according to the optimum condition reached 2026,31 mg/kg, and the ash content decreased from 51,94% to 33,9%. These results indicate that the Lerak acts as a surfactant to improve the quality of coals tailing (CT) by the flotation method.

Keywords: *tailing*; lerak (biosurfactant); flotation; sulphur; calorific value

1. Pendahuluan

Batubara (*coal*) merupakan sedimen batuan organik yang mudah terbakar dengan komposisi utama karbon, hidrogen dan oksigen. Saat ini batubara menjadi salah satu bahan bakar fosil yang banyak digunakan setelah minyak dan gas, karena di samping harganya relatif murah, menurut *Coal Assosiation of Canada*, cadangan batubara sebagai bahan bakar menempati peringkat pertama di dunia yaitu mencapai 91% sementara gas hanya 5% dan minyak 4%. Sumber lain menunjukkan bahwa jumlah cadangan dunia diperkirakan mencapai 1.062 miliar ton. Ini cukup untuk

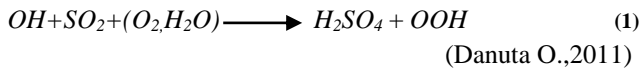
konsumsi dunia selama 230 tahun berdasarkan tingkat produksi tahun 1999. (<http://www.coal.ca>; The Coal Association of Canada, 2002). Di Indonesia, cadangan batubara di Indonesia mencapai 38,8 milyar ton (Andi A., 2009). Konsumsi batubara dunia mencapai 7,8 milyar ton/tahun dan konsumsi domestik batubara Indonesia 80 juta ton, atau 23% produksi nasional (Bahrin, 2015).

1.1. Sulfur Batubara

Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar menimbulkan beberapa masalah pada lingkungan, misalnya masalah permukaan tanah akibat operasi penambangan batubara

* Corresponding Author: danangjay@yahoo.co.id

yang didalamnya terdapat sulfur. Sulfur oksida yang bereaksi dengan OH dan oksigen menurut reaksi:

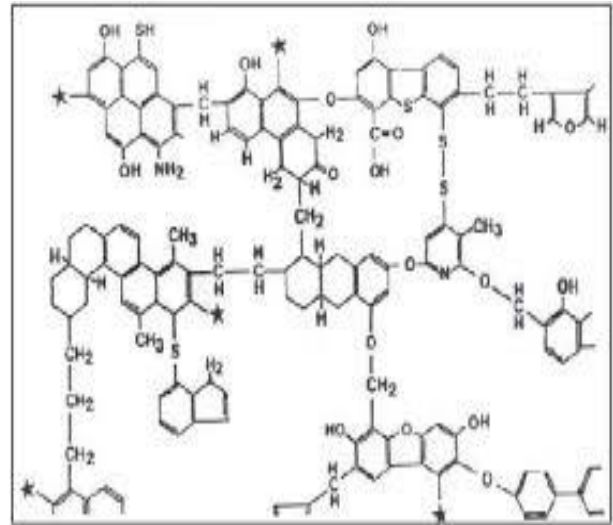


Pembakaran batubara berkadar sulfur tinggi menghasilkan gas sulfur dioksida yang mengganggu kehidupan manusia, seperti menyebabkan sesak pada saluran pernapasan, serta menyebabkan hujan asam karena H_2SO_3 (Asam Sulfit) dan H_2SO_4 (Asam Sulfat) yang terbentuk terkondensasi di udara, serta korosi pada peralatan pabrik. Untuk mengurangi gas SO_2 ini, dapat dilakukan dengan cara mengurangi kandungan sulfur sebelum batubara dibakar, atau dengan mengurangi kandungan sulfur setelah batubara dibakar (*flue gas desulfurization*) (Siswati., 2010). Berdasarkan studi SO_2 yang dilakukan oleh Youvial M, Sastrawinata, Yurismono (1999), batubara yang dapat memenuhi syarat batas emisi maksimum dibawah $\sim 0,44\%$ kering, sedangkan kandungan sulfur batubara yang ada bervariasi, mulai dari 0.1% hingga di atas 1% .

Desulfurisasi batubara dibutuhkan tidak hanya untuk meminimalisir pencemaran lingkungan yang diakibatkan emisi dari sulfur dioksida selama pembakaran, tetapi juga untuk meningkatkan kualitas batubara (Ehsani, M.R., 2006). Reduksi sulfur batubara dapat dilakukan melalui metode kimia, fisika, dan biologi. Teknik reduksi sulfur yang paling efektif adalah menggunakan metode kimia karena hampir semua sulfur organik dan anorganik dapat dihilangkan dari batubara (Ishak dkk., 2017). Proses desulfurisasi batubara secara kimia dapat dilakukan menggunakan etanol, asam sulfonat triflorometan dan desulfurisasi menggunakan larutan asam sulfat, asam nitrat, asam klorida dan hidrogen peroksida. Namun, desulfurisasi secara kimia membutuhkan biaya yang mahal. Apabila dalam hasil karakterisasi batubara menunjukkan jenis sulfur mayoritas sulfur anorganik terutama sulfur pirit, maka desulfurisasi cukup dengan dengan metode fisika dengan biaya yang relatif murah dibandingkan dengan metode kimia (Mukherjee and Borthakur, 2001).

Ikatan intermolekul sulfur dalam senyawa anorganik yaitu ikatan yang terjadi antara atom S dan atom logam M , merupakan ikatan kovalen polar seperti ikatan sulfur dalam senyawa pirit ($Fe-S_2$) dan sulfat ($M-S-O_4$). Sedangkan antar molekul sulfur anorganik dengan inti batubara (senyawa karbon) tidak memiliki ikatan kimia yang kuat (ikatan kovalen atau ion), kecuali hanya mungkin memiliki ikatan yang lemah seperti ikatan hidrogen, ikatan akibat adanya gaya Van der Waals atau gaya adhesi dan ikatan koordinasi pada kompleks khelat antara logam (M) dari sulfur

anorganik (seperti Fe dalam pirit) dengan atom-atom elektronegatif seperti atom oksigen yang ada dalam batubara.



Gambar 1. Struktur batubara model Wisser (Krevelen, 1993)

1.2. Batubara Tailing

Penambangan batubara di Indonesia masih banyak menggunakan metoda *Open Pit Mining*, yaitu dengan membuka/membongkar permukaan tanah deposit batubara sampai beberapa meter kebawah (lapisan tanah tambang batubara/*Seam*) dan membuang tanah atas dan medium tersebut di sekitar kawasan penambangan. Semakin banyak lubang yang digali semakin banyak pula buangan yang dibiarkan begitu saja. Hal tersebut menyebabkan ketidakstabilan ekosistem. Lapisan atas tambang banyak mengandung pengotor di antaranya tanah merah/lempung, batuan dan pasir silika, dan batubara. Maka sebenarnya kupasan tersebut merupakan batubara dengan kualitas rendah dan pengotor ikutannya lebih banyak.

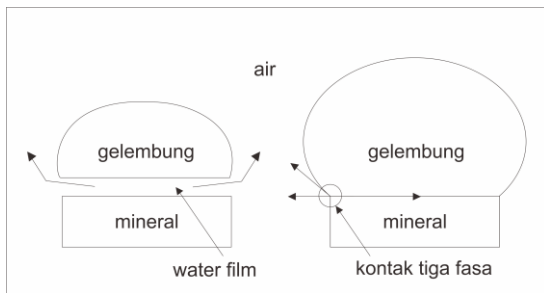
Buangan lainnya adalah buangan pada saat pencucian (*Beneficiation Process*) atau *Washing Operation*. Batubara yang yang diterima konsumen adalah $+ 50$ mm. Maka pada tahap pencucian, ukuran -50 mm (*halus/fine*) dibiarkan lolos terikut air cucian yang mengandung sulfur cukup tinggi. Buangan padat yang dihasilkan industri penambangan batubara disebut dengan batubara *tailing (coals tail/CT)*. *CT* ditimbun pada kolam-kolam penimbun (*pond*) yang banyak jumlahnya. Semakin banyak penambangan akan semakin banyak pula buangannya. *CT* akan memadat karena disimpan dalam waktu yang lama.

Pemisahan batubara di dalam *CT* dari pengotornya (termasuk sulfur), dapat dikategorikan sebagai peningkatan nilai/kualitas buangan tersebut. Hal ini karena batubara dipisahkan dari pengotornya sehingga batubara yang terpingut merupakan batubara murni dengan kadar sulfur yang rendah. Batubara terpingut tersebut pastinya mempunyai karakteristik sebagaimana batubara induk/aslinya dengan kadar sulfur yang lebih rendah, sehingga

dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar, baik bahan bakar gas melalui proses Gasifikasi (*Gasification*) maupun bahan bakar cair melalui proses likuifaksi (*liquifaction*).

1.3. Flotasi

Limbah dari penambangan batubara yang bercampur dengan sisa hasil pencucian batubara yang dinamakan Batubara *Tailing* (CT) mempunyai nilai kalor rendah dan kandungan sulfur yang tinggi. Untuk meningkatkan kualitasnya dengan meningkatkan nilai kalornya dan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan menurunkan kadar sulfurnya, maka batubara harus dipisahkan dari pengotornya tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan flotasi. *Flotasi* merupakan proses pemisahan satu mineral atau lebih dengan mineral lainnya dengan metode pengapungan. Proses pengapungan mineral tertentu dari mineral lainnya dilakukan dengan bantuan gelembung udara sampai ke permukaan air. Secara spesifik, pemisahan ini disebut flotasi buih (*froths flotation*) dan sistematikanya tampak pada Gambar 2.



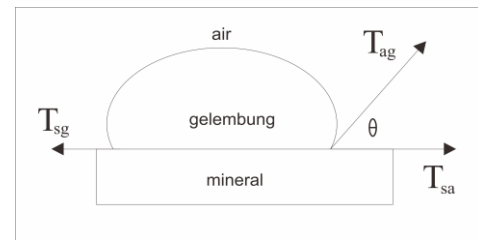
Gambar 2. Skematika Pelekatan Mineral – Gelembung

Operasi pemisahan ini pada dasarnya memanfaatkan perbedaan sifat kimia–fisika permukaan mineral. Perbedaan sifat yang dimaksud terjadi berdasarkan respon permukaan sifat mineral ketika berada dalam air. Sifat permukaan ini dibagi dua, *hidrofilik* dan *hidrofobik*. *Hidrofilik* dan *hidrofobik*, secara bahasa *hidro* berarti air, *filik* berarti suka dan *fobik* berarti takut. Jadi *hidrofilik* adalah zat yang dapat dilarutkan dalam air. Sedangkan *hidrofobik* adalah zat yang tidak dapat larut dalam air tapi larut dalam minyak, dalam proses flotasi zat yang bersifat *hidrofobik* akan terikat pada gelembung udara dan terbawa ke permukaan larutan dan membentuk buih sehingga dapat dipisahkan dari cairan tersebut. (Prayoga, O.M., 2015).

Ada tiga gaya dalam film air yang harus diatas sampai terjadinya pelekatan gelembung-mineral yaitu:

1. Gaya tarik antar molekul, Van der Waals
2. Gaya elektrostatik yang timbul dari tarik menarik *double layer* di air dan sekitar mineral.
3. Hidrasi dari *group hydrophilic* yang ada pada permukaan mineral.

Gambar 3 di bawah menunjukkan kontak antara permukaan mineral dan gelembung udara di dalam air yang membentuk kesetimbangan tegangan antarmuka pada titik kontak tiga fasa.



Gambar 3. Sudut kontak antara mineral-udara dan air.

Beberapa faktor yang berpengaruh dalam flotasi adalah ukuran kolom flotasi berupa diameter dan panjang kolom, pH, dan ukuran butir bahan. Selain itu adanya tambahan reagen ataupun surfaktan turut berperan dalam keberhasilan flotasi.

1.4. pH Flotasi

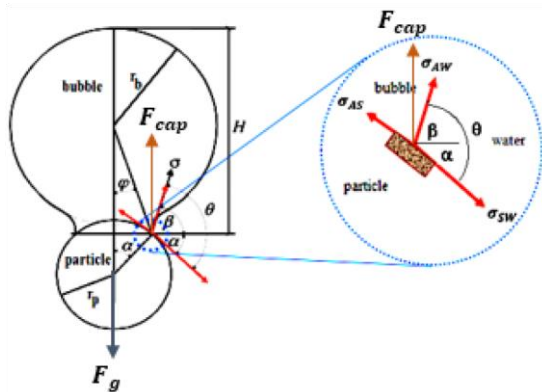
Suatu kolektor (surfaktan) dalam sistem flotasi akan efektif berinteraksi dengan partikel yang akan dihidrofilikkan pada kondisi pH tertentu. Setiap mineral dapat terflotasi secara optimal pada *pH kritis*. Jika pH bergeser dari pH kritis tersebut maka proses flotasi dapat gagal (Kirik and Othmer, 1980; Schweitzer, 1979)

1.5. Dimensi Kolom

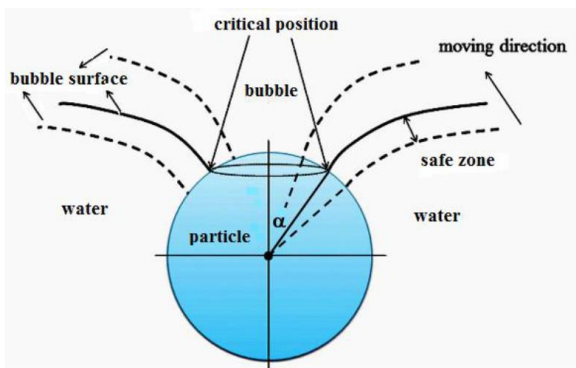
Pada dasarnya proses pemisahan secara flotasi adalah proses yang kompleks karena banyaknya parameter operasi yang berpengaruh. Secara umum, parameter – parameter tersebut ditinjau dari dua faktor utama yaitu *faktor fisika/dinamik* (desain sel, dimensi kolom, pengadukan, laju alir udara, ukuran butiran partikel dan ukuran gelembung udara) dan *faktor kimia* (pH, *reagent* dan konsentrasi *slurry*). (Bayrak, *et al*, 2004; Brown *et al*, 1973; Fujimoto, *et al*, 1999). Untuk mendapatkan hasil maksimum desulfurisasi batubara secara flotasi, maka proses ini perlu dilakukan pada kondisi – kondisi parameter optimum. Dalam penelitian ini dicari kondisi optimum untuk variabel ukuran partikel, dimensi kolom (L/D), dan pH. Secara umum, *removal* batubara bersih diperoleh pada dimensi kolom (L/D) relatif besar (Fujimoto, *et al*, 1999)

1.6. Ukuran Partikel

Gaya kapiler bergantung pada tingkat hidrofobik partikel yang terefleksikan oleh sudut kontak. Dengan sifat hidrofobik lebih tinggi, partikel mineral lebih mudah melekat pada *bubble*. Gaya kapiler ditentukan oleh tiga parameter: tegangan permukaan fluida, perimeter garis tiga kontak dan sudut kontak. Ketiga parameter ini merupakan tolok ukur untuk stabilitas agregat *bubble* – partikel yang merupakan tujuan dari penelitian ini. Pengaruh diameter partikel terhadap stabilitas agregat *bubble* – partikel ditunjukkan oleh Gambar 4.



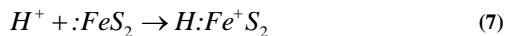
Gambar 4. Geometri *axisymmetric* partikel melekat ke bawah gelembung (Nguyen, 2003)



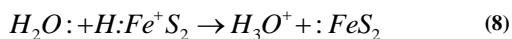
Gambar 5. Berbagai sudut pelekatan (α) partikel pada bagian bawah permukaan *bubble*.

1.7. Reaksi dalam Flotasi

Melalui pengenalan eksperimental, sudut kontak mineral yang keras dapat terukur dan energi dari mineral gas permukaan yang tidak diketahui dapat dihilangkan. Secara umum, pelepasan sulfur pada batubara sebagai berikut: sulfur dalam batubara berbentuk pirit (FeS_2) terlebih dahulu mengalami ionisasi (parsial) membentuk molekul polar dengan adanya ion asam (H^+) dengan reaksi:



Pirit dalam bentuk terionkan ini ($H^+:FeS_2$) akan bersifat lebih hidrofilik sehingga lebih mudah tertarik dengan komponen hidrofilik lainnya (air)



dan karenanya akan lebih mudah dipisahkan dari campuran batubara (komponen hidrofobik). Sebaliknya, adanya ion OH^- dalam campuran *slurry* (kondisi basa), tidak meningkatkan kehidrofilikan pirit, bahkan ion OH^- (yang bermuatan negatif) cenderung tolak menolak dengan molekul pirit yang yang bermuatan negatif parsial (atom Fe dalam pirit memiliki pasangan elektron bebas pada kulit terluarnya dan bersifat elektronegatif). Akibatnya pirit sulit ditarik dari campuran batubara yang bersifat basa tersebut. Untuk mendapatkan hasil maksimum desulfurisasi

batubara secara flotasi, maka perlu dilakukan pada kondisi – kondisi yang optimum. (Aladin, 2009)

1.8. Macam-Macam Reagen Flotasi

Keberhasilan pemisahan mineral secara flotasi ditentukan oleh ketepatan penentuan reagen kimia yang digunakan. Secara garis besarnya reagen yang digunakan dibagi menjadi 3 yaitu :

- Kolektor (*Collecting agent*)

Kolektor yaitu senyawa organik dalam bentuk asam, basa, atau garam yang ditambahkan ke dalam *pulp* (lumpur) untuk mengubah permukaan mineral dari *hidrofilik* menjadi *hidrofobik* dengan proses penyerapan (adsorpsi). Jika terlalu sedikit, maka kolektor yang digunakan tidak dapat mengapungkan mineral secara selektif, sedangkan bila terlalu banyak akan menghasilkan flotasi yang tidak terlalu baik. Macam-macam kolektor antara lain: *Fatty acid*, *Metilisobutil carbinol*, Lerak (*Sapindus rarak de candole*), *Conditioner/Modifier*.

- *Modifier*

Modifier adalah reagen kimia yang diperlukan dalam proses flotasi untuk mengintensifkan selektivitas dari pekerjaan kolektor. Efek yang umum dihasilkan adalah menaikkan dan menurunkan sifat hidrofobik dari suatu partikel tersebut. *Modifier* ini biasanya berupa senyawa organik. Jenis *modifier* ini ada 2 yaitu:

- a. *Regulating Agent*

Regulating agent berfungsi untuk mengendalikan pH, menghilangkan pengaruh gangguan *slime*, koloid, dan garam laut. Pengaruh pH dalam flotasi sangat penting sebab pH dapat mempengaruhi aksi dari *reagent* terutama kolektor. *Reagent* pada kolektor akan bekerja dengan baik pada permukaan mineral tertentu bila mencapai pH kritis. pH kritis adalah ambang batas pH dimana kolektor dapat bekerja dengan baik pada mineral tertentu. Tinggi rendahnya pH ditentukan oleh konsentrasi ion-ion hidrogen dan hidroksil. Pengaruh pH adalah terhadap hidrasi permukaan bila tanpa kolektor dan adsorpsi kolektor pada permukaan mineral.

- b. Aktivator (*Activating agent*)

Aktivator digunakan dalam flotasi untuk meningkatkan kerja dari kolektor pada permukaan partikel mineral. Hal ini berarti reagen aktivator membantu untuk mengapungkan mineral pada saat proses flotasi. (Anonim, 2015)

1.9. Pemilihan surfactant dari Lerak (*Sapindus rarak De Candole*)

Spesies tanaman *Sapindus* seperti *Sapindus saponaria*, *S. rarak*, *S. emarginatus*, *S. drummonii* dan *S. delavay* pada umumnya mempunyai kandungan *saponin* yang tinggi. Salah satu jenis *Sapindus* yang mempunyai kandungan *saponin* tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai imbuhan

pakan pada ruminansia adalah *S. rarak* (lerak). Buah dalam bentuk hasil ekstraksi dengan metanol telah dilaporkan mengandung *saponin* dengan kadar tinggi daripada buahnya yang tanpa diekstrak (Thalib, 2004). Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Suharti *et.al.* (2009) yang menggunakan buah lerak (*S. rarak*) yang diekstraksi dengan air pada konsentrasi 3% dan 5% kandungan *saponin*-nya dan buah lerak yang diekstraksi dengan metanol dengan kandungan *saponin* 81,5%. Dengan banyaknya kandungan *saponin*, maka buih yang dihasilkan akan semakin banyak sehingga dapat menjadi *flotation agent* membantu dan mengubah partikel yang semula hidrofilik menjadi hidrofobik pada proses flotasi. (Suharti *et.al.*, 2009)

Dalam penelitian ini akan divariasikan ukuran kolom flotasi, pH dan ukuran butir mineral didalam sistem flotasi dengan penambahan surfaktan alami lerak.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

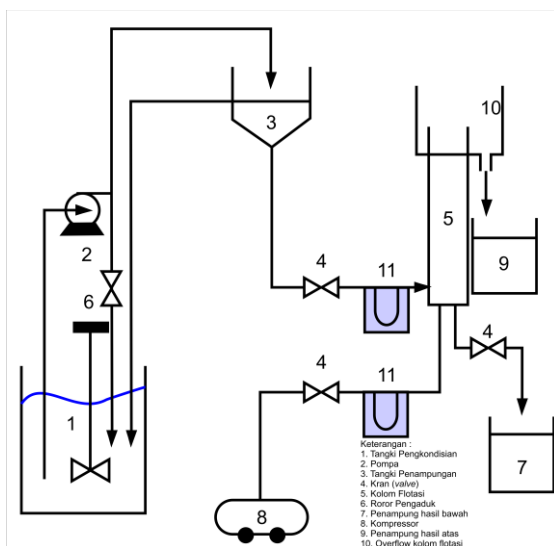
Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *tailing* batubara, Lerak, NaOH, HCl, *aquadest*, dan air.

2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : piknometer, labu ukur, gelas ukur 1000 ml, pengaduk, neraca analitik, gelas beker, ayakan, kertas saring, erlenmeyer, corong, kertas pH, *stopwatch*, gelas arloji, wadah penampung, pompa, kompresor dengan laju alir 1,25 L/menit, kolom flotasi dengan L/D = 134 cm/6,8 cm dan L/D = 127 cm/5,8 cm.

2.3. Prosedur penelitian

Tailing batubara yang berukuran kerikil dikecilkan ukurannya menggunakan *grinding*. Selanjutnya batubara tersebut diayak menggunakan ayakan berukuran 50, 60, 80, dan 100 *mesh*. Kemudian *tailing* batubara dengan ukuran -50/+60, -60/+80, dan -80/+100 *mesh* tersebut ditimbang sebanyak 200 gram menggunakan neraca analitik.



Gambar 6. Rangkaian Alat yang Digunakan

Keterangan :

1. Tangki pengkondisian
2. Pompa
3. Tangki penampungan
4. Kran (*valve*)
5. Kolom flotasi
6. Rotor pengaduk
7. Penampung hasil bawah
8. Kompresor
9. Penampung hasil atas
10. Overflow kolom flotasi
11. Rotameter
12. Flowmeter

Untuk persiapan pengambilan sampel, selanjutnya di dalam tangki pengkondisian mula-mula berisi air sebanyak 40 liter, kemudian dicampurkan dengan larutan lerak dengan perbandingan 1 : 4 dengan *tailing* batubara dan dimasukkan *tailing* batubara yang sudah ditimbang tadi. Larutan lerak sudah dibuat terlebih dahulu dengan merebus 4 kg lerak dengan 8 liter air. Kemudian diaduk dan diatur pH nya menggunakan HCl 1 N atau NaOH 1 N untuk mengatur kondisi variasi pH 6, 7, dan 8 sambil diaduk menggunakan rotor pengaduk. Kompresor dihidupkan dan udara dialirkan masuk ke kolom flotasi dengan laju alir udara 1,2 liter/menit dan flotasi dibuat secara kontinu sedemikian rupa. Durasi proses flotasi pada batubara di dalam kolom flotasi adalah 60 menit. Setelah waktu selesai kemudian hasil atas dan hasil bawah flotasi ditampung. Hasil *tailing* batubara di bagian atas kolom ditampung untuk dianalisis. Flotasi diulangi untuk variabel diameter kolom, pH, dan juga ukuran partikel yang telah ditentukan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisa pada batubara *tailing* yang telah dilakukan, diperoleh kadar sulfur, kadar abu, dan nilai kalor setelah proses flotasi. Pada hasil analisa sebelum proses flotasi, didapatkan kandungan sulfur yang terkandung sebesar 3611,16 mg/kg, kadar abu 54,61%, dan nilai kalor sebesar 3230,171 kal/g.

Dari hasil penelitian variasi ukuran diameter kolom flotasi pada (L/D) 134 cm/ 6,8 cm dan ukuran partikel *tailing* batubara, dapat terlihat sebagai berikut :

1. Variasi ukuran partikel dan kandungan sulfur pada pH 6

Tabel 1. Hasil analisa setelah flotasi pada kondisi pH 6.

Variabel (<i>mesh</i>)	Kadar Sulfur (mg/kg)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
-50/+60	2194,18	34,58	4522,58
-60/+80	2096,55	33,92	4598,865
-80/+100	2026,31	33,90	5035,622

2. Variasi ukuran partikel dan kandungan sulfur pada pH 7

Tabel 2. Hasil analisa setelah flotasi pada kondisi pH 7.

Variabel (mesh)	Kadar Sulfur (mg/kg)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
-50/+60	2212,57	36,41	4349,009
-60/+80	2205,42	35,39	4519,494
-80/+100	2120,88	34,41	4523,191

3. Variasi ukuran partikel dan kandungan sulfur pada pH 8

Tabel 3. Hasil analisa setelah flotasi pada kondisi pH 8.

Variabel (mesh)	Kadar Sulfur (mg/kg)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
-50/+60	2619,05	40,14	4196,041
-60/+80	2459,58	38,93	4219,914
-80/+100	2290,65	37,49	4247,138

Dari hasil penelitian variasi ukuran diameter kolom flotasi pada (L/D) 127 cm/ 5,8 cm dan ukuran partikel tailing batubara, dapat terlihat sebagai berikut

1. Variasi ukuran partikel dan kandungan sulfur pada pH 6

Tabel 4. Hasil analisa setelah flotasi pada kondisi pH 6.

Variabel (mesh)	Kadar Sulfur (mg/kg)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
-50/+60	2573,09	36,91	3795,38
-60/+80	2476,89	35,75	3878,74
-80/+100	2238,7	35,55	4015,36

5. Variasi ukuran partikel dan kandungan sulfur pada pH 7

Tabel 5. Hasil analisa setelah flotasi pada kondisi pH 7.

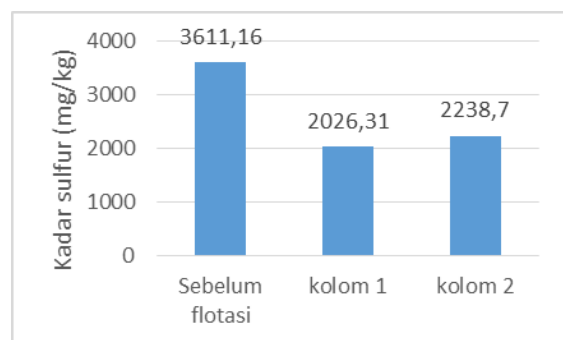
Variabel (mesh)	Kadar Sulfur (mg/kg)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
-50/+60	2832,37	45,74	3633,44
-60/+80	2667,63	43,97	3635,59
-80/+100	2591,8	41,97	3714,77

6. Variasi ukuran partikel dan kandungan sulfur pada pH 8

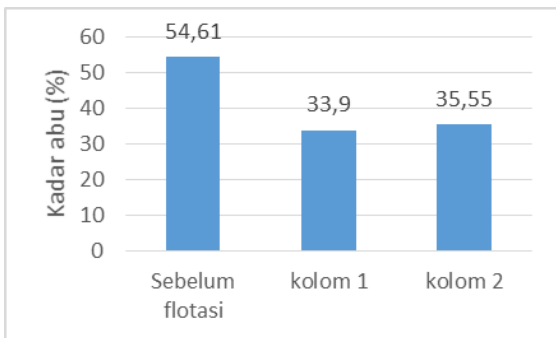
Tabel 6. Hasil analisa setelah flotasi pada kondisi pH 8.

Variabel (mesh)	Kadar Sulfur (mg/kg)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
-50/+60	3129,36	45,74	3545,79
-60/+80	3034,38	43,97	3581,73
-80/+100	2883,06	41,97	3599,41

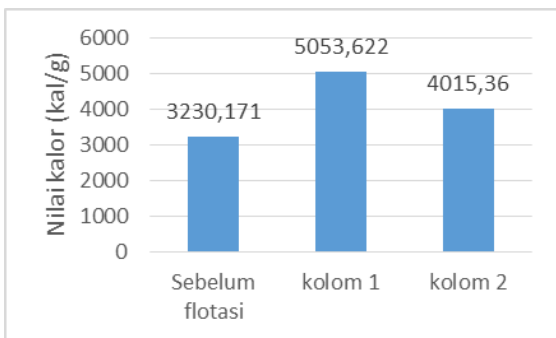
Dari tabel data yang telah disajikan, dapat disimpulkan bahwa hasil optimum berada pada pada diameter kolom 1 (L/D = 134/6,8 cm), dengan kondisi pH 6, dan ukuran partikel -80+100 mesh. Berikut merupakan perbandingan variasi kolom flotasi pada hasil optimum terkait kadar sulfur, abu, dan nilai kalor:



Gambar 7. Perbandingan kadar sulfur pada kondisi optimum (pH 6, ukuran -80/+100 mesh).



Gambar 8. Perbandingan kadar abu pada kondisi optimum (pH 6, ukuran -80/+100 mesh).



Gambar 9. Perbandingan nilai kalor pada kondisi optimum (pH 6, ukuran -80/+100 mesh).

Dari tabel dan gambar di atas, terlihat bahwa semakin kecil ukuran partikel, maka kadar sulfur akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran partikel akan mengakibatkan semakin bertambah luas kontak partikel dalam proses flotasi, maka sulfur terambil semakin banyak. Hasil optimal terjadi pada ukuran partikel -80/+100 mesh dengan kadar sulfur sebesar 2026,31 mg/kg. Begitu pula pada kadar abu, mengalami penurunan seiring turunnya kadar sulfur. Hal ini karena pada proses reduksi kandungan sulfur juga sekaligus dapat mereduksi kandungan abu di *tailing* batubara, dari data analisis diperoleh kadar abu tereduksi dari 51,94% menjadi yang tersisa sebanyak 33,90%.

Dari hasil analisis nilai kalor, didapatkan kondisi terbaik ada pada ukuran partikel -80/+100 mesh, yaitu sebesar 5035,622 kal/gram. Hal ini dikarenakan zat pengotor yang terdapat pada *tailing* batubara mengalami pencucian pada proses flotasi, sehingga nilai kalor yang didapatkan semakin besar.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada peneliti sebelumnya, nilai kalor yang didapatkan setelah proses flotasi memiliki selisih kurang dari 1000 kal/g (Evan., Edwin., 2017). Pada percobaan kali ini diperoleh peningkatan nilai kalor yang cukup signifikan, yaitu nilai kalor sebelum flotasi sebesar 3230,171 kal/gr, sehingga peningkatan nilai kalor sebesar 1805,451 kal/gr.

Pada perbandingan diameter kolom flotasi, didapatkan hasil optimum yang terjadi pada kolom 1 ($L/D = 134/6,8$ cm). Hal ini disebabkan diameter kolom 1 lebih tinggi dan diameter yang lebih besar. Semakin besar tinggi kolom, semakin besar pula tekanan di dalam kolom. Akibatnya, sulfur semakin mudah terpisah dari campuran batubara *tailing*.

Dari data hasil penelitian juga didapatkan bahwa kondisi optimum dari variasi pH terjadi pada pH 6. Hal ini menjelaskan bahwa sulfur pada keadaan asam dapat mudah terionisasi, sehingga lebih bersifat hidrofilik. Sedangkan pada kondisi basa, tidak dapat bersifat hidrofilik sehingga reduksi sulfur yang terjadi kurang optimum.

Dari data yang tersaji, didapatkan hasil flotasi *tailing* batubara pada kondisi optimum, yaitu pada pH 6, ukuran partikel -80/+100 mesh, dengan nilai kalor sebesar 5035,622 kal/g, kadar sulfur sebesar 2026,31 mg/kg, dan kadar abu sebesar 33,9 %.

4. Kesimpulan

1. Diperoleh peningkatan kualitas *tailing* batubara melalui pengurangan kadar sulfur dengan penggunaan metode flotasi.
2. Pada percobaan ini didapatkan hasil terbaik pada ukuran -80/+100 mesh, dengan penurunan kadar sulfur paling optimum, yaitu sebesar 2026,31 mg/kg dan kadar abu dari 54,61% menjadi 33,9%, serta nilai kalor meningkat dari 3230,171 kal/g menjadi 5035,622 kal/g.
3. Kondisi yang optimal untuk pengurangan kadar sulfur pada proses flotasi ketika kondisi di pH 6.
4. Lerak berpotensi sebagai surfaktan untuk meningkatkan kualitas batubara *tailing* secara flotasi.
5. Nilai kalor batubara *tailing* mengalami peningkatan sebesar 1805,451 kal/gr.
6. Variabel diameter kolom flotasi yang paling optimum untuk meningkatkan kualitas batubara *tailing* adalah pada kolom 1 ($L/D = 134/6,8$ cm).

Daftar Pustaka

- Aladin A., 2009, Penentuan Rasio Optimum Campuran CPO: Batubara dalam Desulfurisasi dan Deashing secara Flotasi Sistem Kontinyu, *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 3, No. 2.
- Anonim.2015. *Pengolahan Pemisahan Mineral Biji-h* Secara Flotasi
- Bahrin,David.,Subakjo dan Heri Susanto. 2015.*Penyusunan Kriteria Pemilihan Proses Flue Gas Desulfurization PLTU-Batubara. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. Yogyakarta 18 Maret 2015.ISSN 1693-4393.*

- Bayrak N., O'Donnell, J., A., and Toroglu, I., 2000, Removal of Fine Coals by Column Flotation paper#918, www.google.com
- Brown,G.,G.,1973, Unit Operation .Edisike 13.John Willy & Sons,Inc,New York.PP:100-109.
- Danuta O.,2011, Application of Modified Montmorillonite for Desulfurization During the Combustion of Hard Coal.Poland. University of Science and Technology.
- Ehsani, M.R., Eghbali F., 2007, Reduction Sulfur and Ash from Tabas Coal by Froth Flotation.Iran. Departement of Chemical Engineering Isfahan of Technology.
- Evan E., Edwin R.G., 2017, Penurunan Kadar Sulfur dalam Tailing Batubara dengan Metode Flotasi Menggunakan Lerak (Sapindus rarak De Candolle) Sebagai Surfaktan, Yogyakarta. UPN Veteran Yogyakarta.
- Fujimoto, H. Matsukata, M., and Ueyama, K., 1999, Behavior of Coal Particles in Column Flotation, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol 32, No 3.
- Kirk, R. E. dan D. F. Othmer, 1980, Encyclopedia of Chemical Technology, Third edition, Vol. 10, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 523-545
- Koestoer,R.A.,Yulianto SN, Iwan Masri Martino RS, Nandy S.1997.Studi Tentang Batubara Indonesia, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, edisi ke 2, ISSN 979-8427-04-1, halaman VII-8.
- Krevelen,D.W.V.,1993.Coal:Typology-Physycs Chemistry Constitution,Third edition,Elsevierscience publishers B.V Amsterdam.
- Marthen, Mery. 2014. Desulfurisasi Batubara Secara Kimia Dengan Solvent Leaching Method Menggunakan H₂O₂dalam Larutan H₂SO₄. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Fajar. Makassar.
- Mukherjee,S. and Borthakur, P. C., 2001, Chemical Demineralization/Desulfurization Of High Acid Solutions, *Journal of FUEL* 80,2037-2040.
- Nguyen, A.V., 2003, New method and equation for determining attachment tenacity and particle size limit in flotation, *International Journal Mineral.* 68 167-182
- Nukman, dan Hasan Basri.2001. Clean Coal Technology : Pengurangan Kadar Abu dan Sulfur dari Batubara dengan Metoda Aglomerasi Air-Minyak Sawit. *International Seminar On Green Technology and Engineering (ISGTE)*. Malahayati Niversity.
- Nukman, dan Suhardjo Poetardji, 2006, Pengurangan Kadar Abu dan Sulfur pada Batubara Sub-Bituminus dengan Metoda Aglomerasi Air-Minyak Sawit.Jurnal Sains Materi Indonesia. Program Pascasarjana Ilmu Material. FMIPA –UI, Jakarta.
- Roesyadi,Achmad.,Mahfud.,&Aladin,Andi.,2005.Karakterisasi, Desulfurisasi, dan Deashing Batubara asal Sulawesi secara Flotasi, *Jurnal Terkreditasi Nasional MEDIA TEKNIK UGM Yogyakarta, No. 1 Th. XXVII Edisi Februari*.
- Siswati N D.,dan Festiani,A.,2010, Desulfurisasi batubara menggunakan udara dan air, UPN Veteran Jawa Timur.
- Sundari, Rita., Subandrio., dkk., 2010, Aplikasi Metoda Flotasi Buih Untuk Pencucian Batubara Peringkat Rendah, *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*.
- Suharti, S., A. Kurniawati, D.A. Astuti, & E. Wina. 2009, Microbial population and fermentation characteristic in response to sapindus rarak mineral block. *Media Peternakan.* 33(3): 150-154
- Suganal,Yenni Sofaety, Siti Rafiah Untung, 2000, Identifikasi Gas Buang Briket Super (Briket Semikokas Batubara) pada Dapur Rumah Tangga. Prosiding seminar nasional Kimia VIII ,FMIPA-UGM ,Yogyakarta,hal 241.
- Sukandarrumidi. 2009, Batubara dan Pemanfaatannya: Pengantar Teknologi Batubara Menuju Lingkungan Bersih .Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- Thalib A. 2004., Uji Efektivitas Saponin Buah Sapindus rarak sebagai Inhibitor. hal. 164-171
- The Coal Association of Canada, 2002, Departemen Energi & Sumber Daya Mineral, <http://www.coal.ca> (10 November 2019)