



Desulfurisasi Batubara Dengan Metode Leaching Menggunakan Naoh Dan HCL Di PT. Anugerah Krida Utama, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Widya Indriani , Tommy Trides , Windhu Nugroho
Universitas Mulawarman

Abstract *The utilization of coal as a fossil fuel causes several ecological problems, as for the consequences of the coal combustion process, namely pollution and emissions. Combustion of high sulfur coal produces sulfur dioxide gas (SO₂). This sulfur dioxide (SO₂) will become H₂SO₄ (sulfuric acid) which can directly or indirectly disrupt human life, such as causing acid rain, causing tightness in the respiratory tract and causing corrosion and shortening the life of factory equipment. To reduce SO₂ gas, a reduction in sulfur content is carried out before combustion which is called desulfurization. This research was conducted using the leaching method with variations in leaching agent and solution concentration. Leaching agents used in this study are NaOH and HCl. The coal to be desulfurized is coal from PT Anugerah Krida Utama with an initial total sulfur content of 4,05% adb. 10 grams of coal with a size of 0,212 mm was leached with 250 ml of chemical solution using a hot plate stirrer at 80°C and 250 rpm for 1 hour. The results showed that the optimum condition for leaching agent NaOH occurred at a concentration of 8 M showing the initial total sulfur content of 4,05% adb decreased to 1,69% adb with a maximum percentage decrease of 58,27% and at leaching agent HCl the optimum condition occurred at a concentration of 1 M showing the initial total sulfur content of 4,05% adb decreased to 2,91% adb with a maximum percentage decrease of 28,14%.*

Keywords : Desulfurization, Coal, Leaching Agent, Total Sulfur, Combustion

Abstrak ekologi, adapun konsekuensi yang ditimbulkan dari proses pembakaran batubara yaitu terjadinya polusi dan emisi. Pembakaran batubara berkadar sulfur tinggi menghasilkan gas sulfur dioksida (SO₂). Sulfur dioksida (SO₂) ini akan menjadi H₂SO₄ (asam sulfat) yang secara langsung maupun tidak langsung dapat mengganggu kehidupan manusia, seperti penyebab terjadinya hujan asam, penyebab sesak pada saluran pernapasan serta mengakibatkan korosi dan memperpendek umur pada peralatan pabrik. Untuk mengurangi gas SO₂, dilakukan pengurangan kandungan sulfur sebelum dilakukannya pembakaran yang disebut dengan desulfurisasi. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode leaching dengan variasi leaching agent dan konsentrasi larutan. Leaching agent yang digunakan pada penelitian ini yaitu NaOH dan HCl. Batubara yang akan di desulfurisasi adalah batubara yang berasal dari PT. Anugerah Krida Utama dengan kandungan total sulfur awal sebesar 4,05% adb. Batubara sebanyak 10gram dengan ukuran sebesar 0,212 mm di leaching dengan 250 ml larutan kimia menggunakan hot plate stirrer dengan suhu 80°C dan kecepatan 250 rpm selama 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum pada leaching agent NaOH terjadi pada konsentrasi 8 M menunjukkan kadar total sulfur awal 4,05% adb turun menjadi 1,69% adb dengan presentase maksimum penurunan sebesar 58,27% dan pada leaching agent HCl kondisi optimum terjadi pada konsentrasi 1 M menunjukkan kadar total sulfur awal 4,05% adb turun menjadi 2,91% adb dengan presentase maksimum penurunan sebesar 28,14%.

Kata Kunci :Desulfurisasi, batubara, leaching agent, total sulfur, pembakaran

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber energi yang menjadi tumpuan dalam memenuhi kebutuhan energi dan listrik diberbagai negara termasuk Indonesia. Batubara yang diperoleh dari hasil penambangan mengandung elemen-elemen pengotor (*impurities*) dimana hal tersebut bisa terjadi pada saat pembentukan batubara (*coalification*) atau pada saat proses penambangan. Adapun elemen *impurities* yang terdapat pada batubara seperti sulfur, abu dan berbagai mineral lainnya yang terdapat di dalam batubara (Sukandarrumidi, 1995).

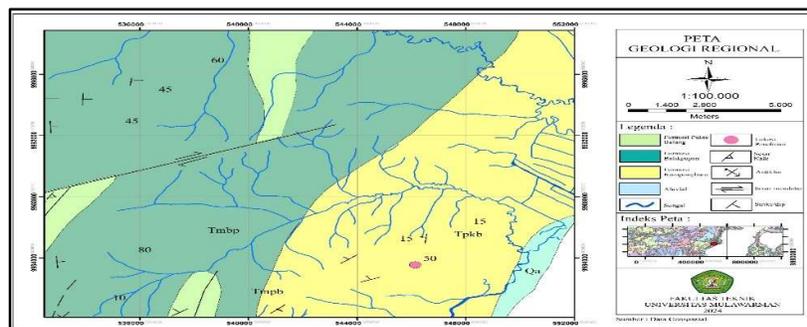
Sulfur merupakan salah satu elemen penting yang mempengaruhi kualitas batubara. Unsur ini terdapat di batubara dalam tiga bentuk, yakni sulfur organik, pirit sulfur dan sulfat sulfur. Hadirnya sulfur dalam batubara sangatlah berbahaya dikarenakan hasil pembakaran batubara yang mengandung sulfur akan berubah menjadi oksida sulfur. Sulfur dioksida (SO₂) ini akan menjadi H₂SO₄ (asam sulfat) yang secara langsung maupun tidak langsung dapat mengganggu kehidupan manusia, seperti penyebab terjadinya hujan asam, penyebab sesak pada saluran pernapasan serta mengakibatkan korosi dan memperpendek umur pada peralatan pabrik (Amin dkk, 2019).

Untuk mengurangi gas SO₂, dilakukan pengurangan kandungan sulfur sebelum dilakukannya pembakaran yang disebut dengan desulfurisasi. Metode pemisahan oksida sulfur yang lebih dikenal dengan istilah desulfurisasi ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan metode basah (*wet method*) dan metode kering (*dry method*). Penelitian ini menggunakan metode basah, yaitu dengan cara metode *leaching*, dimana sulfur yang ada pada batubara akan terlarut oleh *reagents* kimia dalam temperatur operasi pencampuran/pengadukan tertentu (Maidi & Yunasril, 2020).

LANDASAN TEORI

Geologi Regional Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Samarinda (1995) berskala 1 : 250.000 yang dibuat oleh S. Supriatna dkk. Secara regional daerah penyelidikan termasuk dalam cekungan Kutai merupakan geosinklin besar terjadi daerah tersier, terbentuk mulai dari sebelah utara Kalimantan Timur sampai barat daya Kalimantan Tengah.



Gambar 1 Peta Geologi Regional

Batubara

Eliot (1981) dalam buku Arif (2014), ahli geokimia batubara, berpendapat batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur karbon, hidrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta

nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa organik pembentukan ash (debu), tersebar sebagai partikel zat mineral yang terpisah di seluruh senyawa batubara. Secara ringkas, batubara bisa didefinisikan sebagai batuan karbonat berbentuk padat, rapuh, berwarna cokelat tua sampai hitam, dapat terbakar, yang terjadi akibat perubahan tumbuhan secara kimia dan fisik.

Impurities pada Batubara

Seperti diketahui batubara yang diambil dari hasil penambangan selalu mengandung bahan-bahan pengotor (*impurities*). Menurut (Sukandarrumidi, 1995) dikenal 2 jenis *impurities* yaitu:

1. *Inherent Impurities*
2. *External Impurities*

Pembakaran Batubara

Dalam (Pasymi, 2008) faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembakaran batubara yaitu:

1. *Ratio* Batubara Terhadap Udara Pembakar.
2. Temperatur Ruang Bakar.
3. Waktu Tinggal Batubara Dalam Ruang Bakar.
4. Karakteristik Batubara.

Sulfur pada Batubara

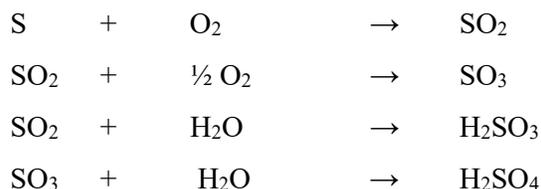
Menurut Arief Sudarsono (2003) dalam jurnal (Agung, 2019) sulfur dalam batubara terdapat dalam tiga bentuk utama yaitu:

1. Sulfur piritik (FeS_2), jumlahnya sekitar 20-30% dari sulfur total dan terasosiasi dalam abu, terjadi baik sebagai makrodeposit (*lensa veins, joints balls, dsb*) dan mikrodeposit (partikel-partikel halus yang terdesiminasi). Sulfur piritik umumnya dapat dihilangkan dengan operasi pencucian, sementara sulfur-sulfur organik dan sulfur sulfat sulit dihilangkan.
2. Sulfur organik, jumlahnya sekitar 20-80% dari sulfur total dan secara kimia terkait di dalam batubara, biasanya berasosiasi dengan sulfat (dan *sulfide*) selama proses pembatubaraan.
3. Sulfur sulfat, kebanyakan sebagai kalsium sulfat, natrium sulfat dan besi sulfat. Jumlahnya sangat kecil pada batubara yang telah terekpos dan telah teroksidasi

Oksida-Oksida Sulfur

Batubara yang dibakar menghasilkan gas belerang oksida (SO_x) yaitu SO_2 dan SO_3 . Pada umumnya gas SO_3 terbentuk dalam tungku sebagai akibat oksidasi SO_2 menjadi SO_3 . Akibat yang ditimbulkan oleh gas-gas ini antara lain; apabila terjadi kontak dengan air (H_2O),

akan membentuk asam sulfat (H_2SO_4) yang bersifat korosif dan dapat merusak instalasi tungku. Gas SO_2 dan SO_3 , membentuk kabut di atmosfer, mengakibatkan terjadinya hujan asam yang membahayakan kehidupan tanaman dan binatang. Pada manusia dapat menimbulkan iritasi pada saluran pernafasan (Sukandarrumidi, 2006). Reaksi-reaksi tersebut secara sederhana adalah:



Sampling Batubara

Menurut Swanson dan Huffman (1976), pada buku *Handbook Of Coal Analysis* oleh James G. Speight (2005), bahwa sampel diajukan untuk analisa kimia dan fisika yang dikumpulkan untuk berbagai alasan, tetapi pengumpulan masing-masing sampel harus sesuai dengan pedoman tertentu. Pencapaian teknik yang tepat dalam pengumpulan sampel membantu untuk memastikan data dari setiap analisis yang akan dilakukan dan dapat berguna dalam penanganan sampel.

Preparasi Batubara

Muchjidin (2006), *Sample preparation* (preparasi sampel) bertujuan untuk menyediakan suatu sampel yang jumlahnya sedikit yang mewakili sampel awal. Sehingga menghasilkan contoh secara sistematis untuk keperluan analisa. *Sample preparation* ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. *Air Drying* (pengeringan udara)
2. *Crushing* (Pengecilan ukuran butir)
3. *Dividing* (Pembagian)
4. *Milling* (Penggerusan)

Desulfurisasi Batubara

Menurut Marthen (2014) dalam jurnal (Maidi & Yunasril, 2020) desulfurisasi batubara merupakan suatu proses penurunan kadar sulfur dari batubara. Batubara merupakan bahan bakar alternatif dengan cadangan melimpah di Indonesia. Kandungan sulfur tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, menyebabkan kerusakan (korosif) dan memperpendek umur alat pabrik industri. Agar batubara tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka 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.

Leaching

Leaching atau ekstraksi merupakan salah satu teknik pemisahan kimia untuk memisahkan atau menarik satu atau lebih komponen atau senyawa-senyawa (analit) dari suatu sampel dengan menggunakan pelarut tertentu yang sesuai. Ekstraksi padat-cair atau *leaching* merupakan proses transfer secara difusi analit dari sampel yang berwujud padat ke dalam pelarutnya. Ekstraksi dari sampel padatan dapat dilakukan jika analit yang diinginkan dapat larut dalam pelarut pengekstraksi (Leba, 2017).

Pembuatan larutan

Menurut (Suherti, 2016) pemilihan *leaching agent* (pelarut) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- 1) Karakteristik fisika dan kimia dari material yang akan dilarutkan.
- 2) Harga dari *reagent*.
- 3) Korosi yang mungkin terjadi akibat penggunaan *reagent* serta material yang digunakan untuk menampung *reagent*.
- 4) Selektivitas *reagent* terhadap unsur yang akan diambil.
- 5) Kemampuan untuk regenerasi/pengadaan yang mudah didapat.

Analisis Efisiensi

Hasil desulfurisasi dari proses *leaching* berdasarkan tiap perlakuan, kemudian disaring dan dikeringkan setelah itu dilakukan kembali analisa kadar total sulfur. Kemudian dibandingkan dengan kadar total sulfur awal. Perbandingan ini dilakukan untuk menghitung efisiensi desulfurisasi dengan proses *leaching*. Efisiensi proses *leaching* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$\% E = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

% E = Efisiensi *leaching*

X₁ = Kadar total sulfur sebelum *leaching* (% adb)

X₂ = Kadar total sulfur setelah *leaching* (% adb)

Presentase Berat Kehilangan

Perhitungan presentase berat kehilangan bertujuan untuk menghitung presentase pengurangan massa batubara selama proses desulfurisasi dilakukan. Presentase berat kehilangan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6.

$$\text{Berat Kehilangan \%} = \frac{\text{total berat kehilangan}}{\text{berat awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Analisis Regresi Non Linier Model Kuadratik

(Maidi & Yunasril, 2020) regresi non linear model kuadratik adalah model regresi yang parameternnya adalah non linear, artinya apabila diturunkan terhadap parameternya sendiri maka hasil yang didapat masih mengandung parameter. Adapun model regresi kuadratik adalah sebagai berikut.

$$Y = a + bX + cX^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

Y = Variabel terikat

X = Variabel bebas

a = Konstanta

b, c = Parameter/koefisien

(Nuryadi, dkk 2017) untuk mengetahui keerataan hubungan antara dua buah variabel digunakan ukuran koefisien korelasi (r). Besarnya koefisien korelasi (r) antara dua buah variable adalah nol sampai dengan ± 1. Apabila dua buah variabel mempunyai nilai r = 0, berarti antara variabel tersebut tidak ada hubungan. Sedangkan apabila dua buah variable mempunyai nilai r = ± 1, maka dua buah variabel tersebut mempunyai hubungan yang sempurna. Tanda minus (-) pada nilai r menunjukkan hubungan yang berlawanan arah (apabila nilai variable yang satu naik, maka nilai variabel yang lain turun), dan sebaliknya tanda plus (+) pada nilai r menunjukkan hubungan yang searah (apabila nilai variabel yang satu naik, maka nilai variabel yang lain juga naik)

.Menurut Nursiyono dan Nadeak (2016) koefisien korelasi atau nilai kekuatan hubungan (R) dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Tabel 1 Nilai Kekuatan Hubungan (R) (Nursiyono & Nadeak, 2016)

| Nilai | Keterangan |
|---------------|---------------|
| 0,00 – 0,1999 | Sangat rendah |
| 0,20 – 0,399 | Rendah |
| 0,40 – 0,599 | Cukup kuat |
| 0,60 – 0,799 | Kuat |
| 0,80 – 1,00 | Sangat kuat |

METODE

Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian ini yaitu menguji manfaat dari teori-teori ilmiah yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu serta mengetahui hubungan empiris dan analisis bidang-bidang tertentu. Jenis penelitian ini, merupakan jenis penelitian evaluasi dari segi

metodenya yang bertujuan untuk mencari, menghitung, menganalisis, dan memberikan solusi berupa evaluasi agar tercapai hal-hal yang semestinya atau sesuai dengan standar yang berlaku.

Tahap Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan yaitu dengan pendekatan masalah yang berupa pengambilan bahan, baik berupa dasar teori maupun data-data objek yang diamati secara langsung dilapangan. Sehingga dilakukan dalam beberapa tahapan yang meliputi tahap pra lapangan, tahap lapangan, dan tahap pasca lapangan.

Jadwal Penelitian

Berikut ini merupakan jadwal penelitian yang akan dijadikan sebagai acuan waktu dalam melakukan penelitian, yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel.2 Jadwal Penelitian

| No | Kegiatan | Minggu Ke- | | | | | | | |
|----|---------------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Studi Literatur | | | | | | | | |
| 2 | Pengumpulan Data | | | | | | | | |
| 3 | Pengamatan Langsung | | | | | | | | |
| 4 | Pengolahan Data | | | | | | | | |
| 5 | Analisis Data | | | | | | | | |
| 6 | Penyusunan dan Penyerahan | | | | | | | | |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kadar Total Sulfur Awal

Total sulfur pada batubara adalah kandungan dari sulfur organik dan sulfur anorganik yang terdiri sulfur sulfat dan sulfur pirit. Berdasarkan Analisa penentuan kadar total sulfur yang telah dilakukan pengujian dengan menggunakan metode ASTM D-4239 sehingga didapatkan kadar total sulfur awal pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 kadar Total Sulfur awal

| | |
|------------------------------|-----------------|
| SAMPLE CODE | KSA (082310038) |
| Mass As Received (kg) | 10,3 |
| PARAMETER | RESULT |
| Total Sulfur % <i>adb</i> | 4,05 |

Desulfurisasi dengan Metode *Leaching*

Desulfurisasi batubara pada pengujian ini menggunakan metode *leaching* dengan memvariasikan konsentrasi larutan dan jenis *leaching agent* (pelarut) yang digunakan. Variasi ini digunakan untuk membandingkan penyerapan yang dilakukan larutan dalam menurunkan total sulfur batubara dan menemukan titik optimum penurunannya.

Hasil Analisis dengan NaOH

Variasi yang digunakan untuk pelarut NaOH yaitu 2 M, 4 M, 6 M, 8 M dan 10 M. Setelah proses *leaching* dilakukan didapatkan perbandingan kadar awal total sulfur dengan kadar akhir. Berikut hasil pengujian kadar total sulfur setelah proses *leaching* dengan NaOH dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Kadar Total Sulfur Setelah *Leaching* dengan NaOH

| NaOH | | | | |
|------|-------------|-----------------|---------------------------|----------------------|
| No | Kode Sampel | konsentrasi (M) | % Total Sulfur Awal (adb) | % Total Sulfur (adb) |
| 1 | DSNH-1 | 2 | 4,05 | 3,10 |
| 2 | DSNH-2 | 4 | 4,05 | 2,61 |
| 3 | DSNH-3 | 6 | 4,05 | 2,10 |
| 4 | DSNH-4 | 8 | 4,05 | 1,69 |
| 5 | DSNH-5 | 10 | 4,05 | 2,16 |

Hasil Analisis dengan HCl

Variasi konsentrasi yang digunakan untuk pelarut HCl yaitu 0,5 M, 0,75 M, 1 M, 1,25 M dan 1,5 M. Setelah proses *leaching* dilakukan didapatkan perbandingan kadar awal total sulfur dengan kadar akhir. Berikut hasil pengujian kadar total sulfur setelah proses *leaching* dengan HCl dapat dilihat pada Tabel 5

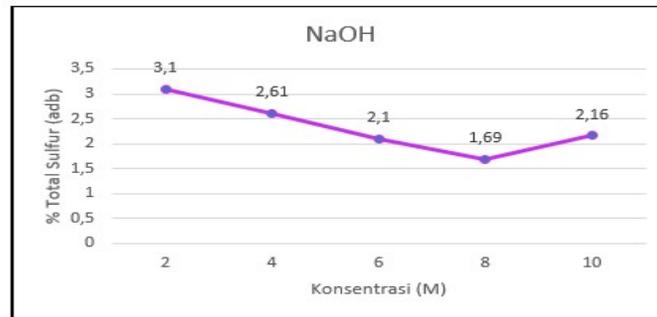
Tabel 5 Kadar Total Sulfur Setelah *Leaching* dengan HCl

| HCl | | | | |
|-----|-------------|-----------------|---------------------------|----------------------|
| No | Kode Sampel | konsentrasi (M) | % Total Sulfur Awal (adb) | % Total Sulfur (adb) |
| 1 | DSHC-1 | 0,5 | 4,05 | 3,52 |
| 2 | DSHC-2 | 0,75 | 4,05 | 3,42 |
| 3 | DSHC-3 | 1 | 4,05 | 2,91 |
| 4 | DSHC-4 | 1,25 | 4,05 | 3,36 |
| 5 | DSHC-5 | 1,5 | 4,05 | 3,41 |

Efektivitas Konsentrasi dalam Proses *Leaching*

Efektivitas Konsentrasi NaOH

Efektivitas desulfurisasi dengan metode *leaching* menggunakan larutan NaOH dapat terlihat terjadi perubahan nilai total sulfur pada sampel yang telah dilakukan pengujian. Penurunan total sulfur pada sampel dengan variasi konsentrasi terjadi penurunan berturut-turut yaitu pada konsentrasi 2 M, 4 M, 6 M dan 8 M dengan penurunan menjadi 3,10% adb, 2,61% adb, 2,10% adb dan 1,69% adb namun, mengalami peningkatan pada konsentrasi 10 M dengan penurunan sebesar 2,16% adb. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi NaOH yang digunakan terhadap desulfurisasi dengan proses *leaching*. Efektivitas konsentrasi NaOH dalam menurunkan kadar total sulfur batubara dapat dilihat pada Gambar 2.

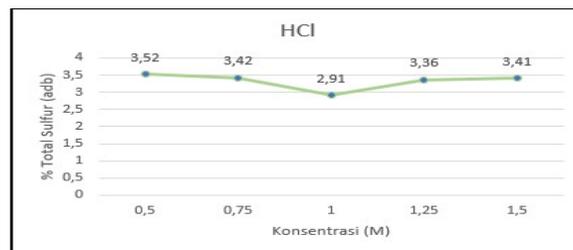


Gambar 2 Efektivitas Konsentrasi NaOH Terhadap Total Sulfur

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kadar total sulfur yang dihasilkan dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, maka kadar sulfur yang diturunkan semakin tinggi juga. Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi pelarut maka kadar total sulfur yang terkandung dalam batubara akan menguap dan terlarut oleh pelarut. Namun pada konsentrasi 10 M terjadi ketidakefisienan dimana setelah mencapai konsentrasi tertentu nilai koefisien distribusi akan semakin menurun karena pada konsentrasi yang besar mulai mengalami kesulitan dalam perpindahan *solute* (zat terlarut). Pada gambar dapat terlihat penurunan paling optimum terjadi pada konsentrasi 8 M dengan kadar awal 4,05% adb turun menjadi 1,69% adb dengan persen penurunan yaitu 58,17%.

Efektivitas Konsentrasi HCl

Efektivitas desulfurisasi dengan metode *leaching* menggunakan larutan HCl dapat terlihat terjadi perubahan nilai total sulfur pada sampel yang telah dilakukan pengujian. Pada sampel dengan variasi konsentrasi terjadi penurunan berturut-turut yaitu pada konsentrasi 0,5 M, 0,75 M dan 1 M dengan penurunan menjadi 3,52% adb, 3,42% adb dan 2,91% adb namun, pada konsentrasi 1,25 M dan 1,5M terjadi peningkatan secara berturut-turut dengan penurunan yaitu sebesar 3,36% adb dan 3,41% adb. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi HCl yang digunakan terhadap desulfurisasi dengan proses *leaching*. Efektivitas konsentrasi HCl dalam menurunkan kadar total sulfur batubara dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Efektivitas Konsentrasi HCl Terhadap Total Sulfur

Berdasarkan pada Gambar 3 dapat terlihat terjadi perubahan nilai total sulfur pada sampel yang telah dilakukan pengujian. Pada sampel dengan variasi konsentrasi terjadi

penurunan berturut-turut yaitu pada konsentrasi 0,5 M, 0,75 M dan 1 M dengan penurunan menjadi 3,52% adb, 3,42% adb dan 2,91% adb namun, pada konsentrasi 1,25 M dan 1,5M terjadi peningkatan secara berturut-turut dengan penurunan yaitu sebesar 3,36% adb dan 3,41% adb. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi HCl yang digunakan terhadap desulfurisasi.

Berdasarkan gambar diatas didapatkan juga bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan maka semakin tinggi juga derajat desulfurisasi yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi HCl yang tinggi maka laju reaksi juga semakin tinggi namun, dari konsentrasi 1,25 M terjadi kenaikan yang mana artinya terjadi ketidakefisienan. Dimana setelah mencapai konsentrasi tertentu nilai koefisien distribusi akan semakin menurun karena pada konsentrasi yang besar mulai mengalami kesulitan dalam perpindahan *solute* (zat terlarut). Pada gambar dapat terlihat penurunan paling optimum terjadi pada konsentrasi 1 M dengan kadar awal 4,05% adb turun menjadi 2,91% adb dengan persen penurunan yaitu 28,14%.

Presentase Efisiensi Desulfurisasi dengan Metode *Leaching*

Hasil presentase Efisiensi metode *leaching* berdasarkan variasi konsentrasi yang digunakan yaitu pada Tabel 5 untuk NaOH dan Tabel 6 untuk HCl.

Tabel 6 Presentase Efisiensi NaOH

| NaOH | | | | | |
|------|-------------|-----------------|---------------------------|----------------------|-------------|
| No | Kode Sampel | Konsentrasi (M) | % Total Sulfur Awal (adb) | % Total Sulfur (adb) | % Efisiensi |
| 1 | DSNH-1 | 2 | 4,05 | 3,10 | 23,45 |
| 2 | DSNH-2 | 4 | 4,05 | 2,61 | 35,55 |
| 3 | DSNH-3 | 6 | 4,05 | 2,10 | 48,14 |
| 4 | DSNH-4 | 8 | 4,05 | 1,69 | 58,27 |
| 5 | DSNH-5 | 10 | 4,05 | 2,16 | 46,66 |

Berdasarkan Tabel 6 dapat terlihat persentase efisiensi paling rendah terjadi pada sampel dengan konsentrasi 2 M dimana presentase penurunan hanya 23,45%, sedangkan presentase efisiensi paling optimum terjadi pada konsentrasi 8 M dimana NaOH mampu menurunkan kadar total sulfur dari kadar awal 4,05 menjadi 1,69% adb dengan persentase penurunan sebesar 58,27%

Tabel 7 Presentase Efisiensi HCl

| HCl | | | | | |
|-----|-------------|-----------------|---------------------------|----------------------|-------------|
| No | Kode Sampel | Konsentrasi (M) | % Total Sulfur Awal (adb) | % Total Sulfur (adb) | % Efisiensi |
| 1 | DSHC-1 | 0,5 | 4,05 | 3,52 | 13,08 |
| 2 | DSHC-2 | 0,75 | 4,05 | 3,42 | 15,55 |
| 3 | DSHC-3 | 1 | 4,05 | 2,91 | 28,14 |
| 4 | DSHC-4 | 1,25 | 4,05 | 3,36 | 17,03 |
| 5 | DSHC-5 | 1,5 | 4,05 | 3,41 | 15,80 |

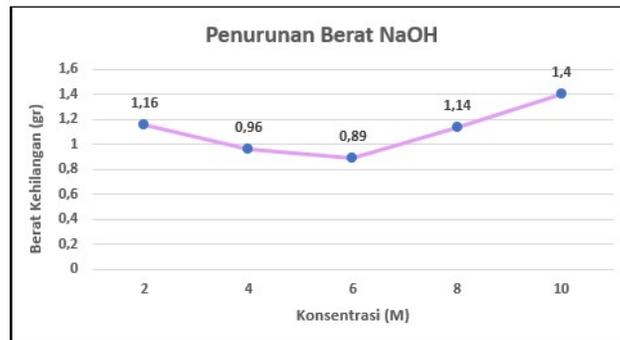
Berdasarkan Tabel 7 dapat terlihat persentase efisiensi paling rendah terjadi pada sampel dengan konsentrasi 0,5 M dimana presentase penurunan hanya 13,08%, sedangkan presentase efisiensi paling optimum terjadi pada konsentrasi 1 M dimana HCl mampu menurunkan kadar total sulfur dari kadar awal 4,05 menjadi 2,91% adb dengan persentase penurunan sebesar 28,18%.

Analisis Berat Kehilangan

kehilangan berat sampel untuk pelarut NaOH dapat terlihat Tabel 7 Berat akhir rata-rata sampel yang tersisa yaitu 8,89 gram , dengan rata-rata berat kehilangan sebesar 1,11 gram dan presentase berat kehilangan sebesar 11,10%.

Tabel 8 Presentase Berat NaOH

| NaOH | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| No | Kode Sampel | konsentrasi (M) | Berat Awal (gr) | Berat Akhir (gr) | Berat Kehilangan (gr) | Berat Kehilangan (%) |
| 1 | DSNH-1 | 2 | 10 | 8,84 | 1,16 | 11,60 |
| 2 | DSNH-2 | 4 | 10 | 9,04 | 0,96 | 9,60 |
| 3 | DSNH-3 | 6 | 10 | 9,11 | 0,89 | 8,90 |
| 4 | DSNH-4 | 8 | 10 | 8,86 | 1,14 | 11,40 |
| 5 | DSNH-5 | 10 | 10 | 8,60 | 1,40 | 14 |
| Rata-Rata | | | | 8,89 | 1,11 | 11,10 |



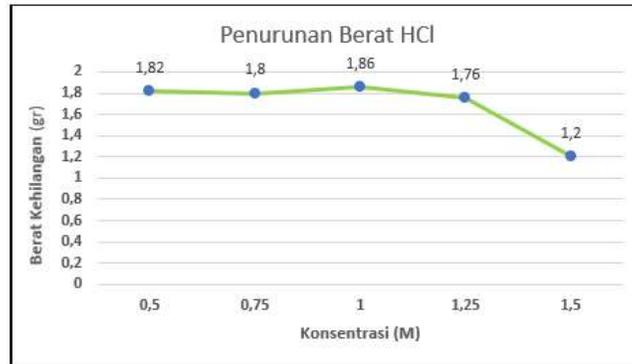
Gambar 4 Grafik Penurunan Berat NaOH

Berdasarkan percobaan yang dilakukan menggunakan sampel batubara sebanyak 10 gram setelah proses *leaching* dan pencucian berkali-kali terjadinya pengurangan massa sampel. Untuk pelarut NaOH kehilangan massa sampel Berdasarkan gambar 4 dapat terlihat berat akhir kehilangan paling tinggi yaitu pada konsentrasi 10 M sebesar 1,4 gram dan kehilangan paling sedikit terjadi pada konsentrasi 6 M yaitu sebesar 0,89 gram.

Kehilangan berat sampel untuk pelarut HCl dapat terlihat Tabel 4, berat akhir rata-rata sampel yang tersisa yaitu 8,31gram dengan rata-rata berat kehilangan sebesar 1,688 gram dan presentase berat kehilangan sebesar 16,88%.

Tabel 9 Presentase Berat HCl

| HCl | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| No | Kode Sampel | konsentrasi (M) | Berat Awal (gr) | Berat Akhir (gr) | Berat Kehilangan (gr) | Berat Kehilangan (%) |
| 1 | DSHC-1 | 0,5 | 10 | 8,18 | 1,82 | 18,2 |
| 2 | DSHC-2 | 0,75 | 10 | 8,20 | 1,80 | 18 |
| 3 | DSHC-3 | 1 | 10 | 8,14 | 1,86 | 18,60 |
| 4 | DSHC-4 | 1,25 | 10 | 8,24 | 1,76 | 17,60 |
| 5 | DSHC-5 | 1,5 | 10 | 8,80 | 1,20 | 12 |
| Rata-Rata | | | | 8,31 | 1,688 | 16,88 |



Gambar 5 Grafik Penurunan Berat HCl

Berdasarkan percobaan yang dilakukan menggunakan sampel batubara sebanyak 10 gram setelah proses *leaching* dan pencucian berkali-kali terjadinya pengurangan massa sampel. Untuk pelarut HCl kehilangan massa sampel berdasarkan Gambar 5 dapat terlihat berat akhir kehilangan paling tinggi yaitu pada konsentrasi 0,5 M sebesar 1,82gram dan kehilangan paling sedikit terjadi pada konsentrasi 1.5 M yaitu sebesar 1,2 gram.

Analisis Regresi Non Linear Model Kuadratik

Penentuan nilai pengaruh konsentrasi larutan terhadap kadar total sulfur batubara pada penelitian menggunakan metode regresi non linear dengan model kuadratik pada program IBM SPSS *Statistic*. Parameter konsentrasi sebagai variabel bebas (X) dan total sulfur sebagai variabel terikat (Y). Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y).

Analisis Regresi NaOH

Koefisien determinasi berfungsi untuk mengetahui berapa persen pengaruh yang diberikan variabel (X) secara simultan terhadap variabel (Y). pada Tabel 10 Dapat dilihat koefisien determinasi berdasarkan *output* diketahui nilai R *Square* sebesar 0,925. Hal ini mengandung arti bahwa pengaruh variabel X secara simultan terhadap variabel Y adalah sebesar 92,5%.

Tabel 10 Model Summary NaOH

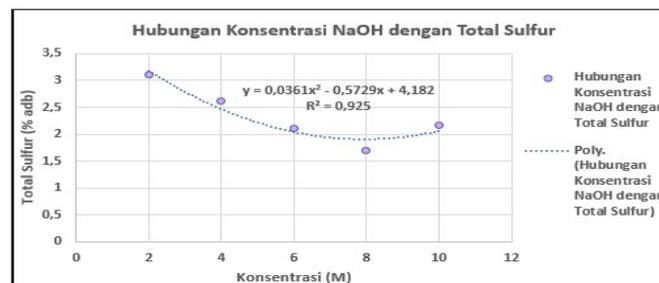
| Model Summary | | | |
|--|----------|-------------------|----------------------------|
| R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| .962 | .925 | .850 | .209 |
| The independent variable is <u>Konsentrasi (M)</u> . | | | |

Tabel 11 Parameter Koefisien NaOH

| Coefficients | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
| | B | Std. Error | Beta | | |
| <u>Konsentrasi (M)</u> | -.573 | .171 | -3.360 | -3.357 | .078 |
| <u>Konsentrasi (M)</u> ** 2 | .036 | .014 | 2.588 | 2.585 | .123 |
| (Constant) | 4.182 | .448 | | 9.337 | .011 |

Berdasarkan hasil analisis regresi pada Tabel 11 dapat diperoleh koefisien untuk variabel Konsentrasi (X) sebesar -0,573 bernilai negatif menunjukkan dimana variabel (X) meningkat maka variabel (Y) menurun. Variabel konsentrasi (X^2) sebesar 0,036 bernilai positif menunjukkan bahwa jika variabel (X^2) meningkat maka nilai variabel (Y) menurun. Sedangkan untuk konstanta yang didapatkan sebesar 4,182 dimana ini menunjukkan angka konstan yang mempunyai arti bahwa jika tidak ada variabel bebas (X) maka nilai variabel terikat (Y) sebesar 4,182.

Berdasarkan nilai koefisien regresi variabel (X) terhadap variabel (Y) sehingga persamaan regresi yang diperoleh yaitu $Y = 4,182 - 0,573X + 0,036X^2$.

**Gambar 6 Hubungan Konsentrasi NaOH Dengan Total Sulfur**

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat hasil analisa untuk NaOH didapatkan nilai persamaan regresi yaitu: $Y = 0,036X^2 - 0,5729X + 4,128$ dengan memiliki hubungan kekuatan korelasi (R^2) yaitu sebesar 0,925. Berdasarkan nilai korelasi dapat diketahui kenaikan konsentrasi NaOH terhadap total sulfur menunjukkan adanya hubungan dimana hubungan yang terjadi yaitu sangat kuat dan juga menunjukkan bahwa hubungan ini searah dengan nilai konsentrasi begitu juga *respond* dari nilai penurunan total sulfur yang juga naik. Penurunan

kadar total sulfur dapat dijelaskan oleh besarnya presentase pemberian konsentrasi NaOH sebesar 92,50% sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Analisis Regresi HCL

Koefisien determinasi berfungsi untuk mengetahui berapa persen pengaruh yang diberikan variabel (X) secara simultan terhadap variabel (Y). pada Tabel 12 dapat dilihat koefisien determinasi berdasarkan *output* diketahui nilai *R Square* sebesar 0,532. Hal ini mengandung arti bahwa pengaruh variabel X secara simultan terhadap variabel Y adalah sebesar 53,2%.

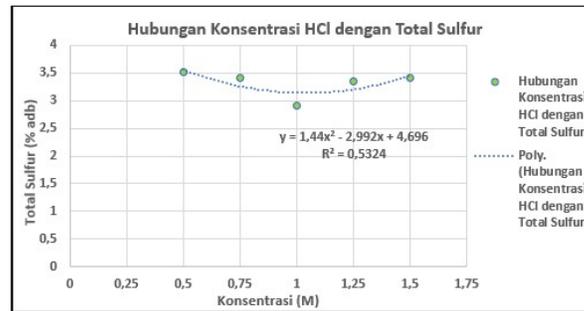
Tabel 12 Model Summary HCL

| <i>Model Summary</i> | | | |
|--|-----------------|--------------------------|-----------------------------------|
| R | <i>R Square</i> | <i>Adjusted R Square</i> | <i>Std. Error of the Estimate</i> |
| .730 | .532 | .065 | .231 |
| <i>The independent variable is <u>Konsentrasi (M)</u>.</i> | | | |

Berdasarkan hasil analisis regresi pada Tabel 12 dapat diperoleh koefisien untuk variabel konsentrasi (X) sebesar -2,992 bernilai negatif menunjukkan dimana variabel (X) meningkat maka variabel (Y) menurun. Variabel konsentrasi (X^2) sebesar 1,440 bernilai positif menunjukkan bahwa jika variabel (X^2) meningkat maka nilai variabel (Y) menurun. Sedangkan untuk konstanta yang didapatkan sebesar 4,696 dimana ini menunjukkan angka konstan yang mempunyai arti bahwa jika tidak ada variabel bebas (X) maka nilai variabel terikat (Y) sebesar 4,696. Berdasarkan nilai koefisien regresi variabel (X) terhadap variabel (Y) sehingga persamaan regresi yang diperoleh yaitu $Y = 4,696 - 2,992X + 1,440X^2$.

Tabel 13 Parameter Koefisien HCL

| <i>Coefficients</i> | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|--------|------|
| | <i>Unstandardized Coefficients</i> | | <i>Standardized Coefficients</i> | t | Sig. |
| | B | Std. Error | Beta | | |
| <u>Konsentrasi (M)</u> | -2.992 | 1.995 | -4.957 | -1.500 | .272 |
| <u>Konsentrasi (M)</u> ** 2 | 1.440 | .987 | 4.823 | 1.459 | .282 |
| (Constant) | 4.696 | .917 | | 5.120 | .036 |



Gambar 7 Hubungan Konsentrasi HCl dengan Total Sulfur

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat hasil analisa untuk HCl didapatkan nilai persamaan regresi yaitu: $Y = 1,44X^2 - 2,992X + 4,696$ dengan memiliki hubungan kekuatan korelasi (R^2) yaitu sebesar 0,5324. Berdasarkan nilai korelasi dapat diketahui kenaikan konsentrasi HCl terhadap total sulfur menunjukkan adanya hubungan dimana hubungan yang terjadi yaitu cukup kuat dan juga menunjukkan bahwa hubungan ini searah dengan nilai konsentrasi begitu juga *respond* dari nilai penurunan total sulfur yang juga naik. Penurunan kadar total sulfur dapat dijelaskan oleh besarnya presentase pemberian konsentrasi HCl sebesar 53,24% sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Hasil Analisis *Leaching* Terhadap Standar Industri

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa desulfurisasi dengan metode *leaching* menggunakan NaOH dan HCl terbukti bisa mereduksi kandungan total sulfur yang ada di dalam batubara. Namun pada batubara PT. Anugerah Krida Utama belum memenuhi standar kandungan sulfur dalam beberapa industri seperti PLTU, industri semen dan industri logam meskipun sudah dilakukan *leaching*. Tingginya kadar total sulfur pada PT. Anugerah Krida Utama meski sudah dilakukan penurunan kadar total sulfur dengan metode *leaching* menggunakan senyawa kimia ternyata masih belum mencapai standar di berbagai industri walaupun proses ini mampu menurunkan penurunan total sulfur mencapai 58,27%.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Leaching agent* dan konsentrasi larutan memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar total sulfur batubara. Berdasarkan hasil pengujian kadar awal total sulfur yaitu sebesar 4,05% adb. Setelah dilakukan desulfurisasi dengan metode *leaching* didapatkan kadar akhir

total sulfur untuk NaOH dengan dengan masing-masing variasi konsentrasi yaitu 3,10% adb, 2,61% adb, 2,10% adb, 1,69% adb, dan 2,16% adb. Sedangkan untuk HCl dengan masing-masing variasi konsentrasi yaitu 3,52% adb, 3,42% adb, 2,91% adb, 3,36% adb dan 3,41% adb.

2. Hasil Desulfurisasi dengan proses *leaching* berdasarkan variasi *leaching agent* dan konsentrasi larutan didapatkan kondisi optimum. Untuk *leaching agent* NaOH kondisi optimum terjadi pada konsentrasi 8 M dimana mampu menurunkan kadar total sulfur dari 4,05% adb menjadi 1,69% adb. Untuk *leaching agent* HCl kondisi optimum terjadi pada konsentrasi 1 M dimana kadar awal 4,05% adb menjadi 2,91% adb.
3. Efisiensi desulfurisasi batubara dengan variasi *leaching agent* dan konsentrasi larutan didapatkan berdasarkan kondisi optimum penurunannya. Untuk NaOH efisiensi penurunannya yaitu sebesar 58,27% dan untuk HCl efisiensinya yaitu sebesar 28,14%.

Saran

Adapun saran pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan beberapa perbandingan parameter seperti waktu kontak, suhu, ukuran partikel yang berbeda ataupun jenis *leaching agent* seperti KOH sehingga dapat menentukan dengan baik desulfurisasi dengan metode *leaching*.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan desulfurisasi dengan metode yang berbeda seperti metode flotasi.

REFERENSI

- Agung, Nur Muhammad. 2019. *Hubungan Kandungan Total Sulphur Terhadap Gross Caloric Value Pada PT. Carsurin Samarinda*. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Amin, Muhammad., Birawida, David Chandra., & Isnugroho Kusno. 2019. *Desulfurisasi Batubara Menggunakan Ekstrak Belimbing Wuluh (Everrhoa Bilimbi L)*. J. Presipitasi, Vol 16 No 2: 1-9.
- Arif, Irwandy. 2014. *Batubara Indonesia*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Leba, Maria Aloisia Uron. 2017. *Ekstraksi dan Real Kromatografi*. Deepublish.
- Maidi, S., & Yunasril, Y. 2020. *Desulfurisasi Batubara dengan Metode Leaching Menggunakan Pelarut Asam Klorida (HCl)*. Padang: Universitas Negri Padang
- Muchjidin. 2006. *Pengendalian Mutu Dalam Industri Batubara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Nursiyono, Joko ade & Nadeak, Pray. P. H. 2016. *Setetes Ilmu Regresi Linear*. Media Nusa Creative. ISBN 978-602-693130-6

- Nuryadi, N., Astuti, T. D., Sri Utami, E., & Budiantara, M. 2017. *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Pasyimi. 2008. *Batubara (Jilid 1)*. Padang: Bung Hatta University Press.
- Suherti, Erti. 2016. *Modul Guru Pembelajaran Paket Keahlian Kimia Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)*. Jakarta: Direktorat jendral Guru Dan Tenaga Kependidikan.
- Sukandarrumidi. 1995. *Batubara Dan Gambut*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sukandarrumidi. 2006. *Batubara dan Pemanfaatannya*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta