

KAJIAN PEMANFAATAN AMPAS PENGOLAHAN BIJIH TEMBAGA PT. FREEPORT INDONESIA SEBAGAI KATALIS PADA PROSES PENCAIRAN BATUBARA

NINING S. NINGRUM¹⁾, MIFTAHUL HUDA¹⁾ dan IMELDA E.R. HUTABARAT²⁾

¹⁾Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara

²⁾Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
e-mail: ninings@tekmira.esdm.go.id

SARI

Dalam rangka mempertahankan kestabilan suplai bahan bakar minyak untuk kebutuhan domestik akibat semakin menipisnya cadangan minyak di Indonesia, maka perlu dilakukan berbagai upaya untuk mencari bahan bakar alternatif pengganti minyak. Pencairan batubara merupakan salah satu upaya untuk mendapatkan minyak dari batubara. Katalis adalah faktor penentu dalam pencairan batubara, untuk mendapatkan produk minyak batubara agar lebih ekonomis karena katalis berfungsi mempercepat reaksi dan meningkatkan hasil konversi minyak. Katalis yang baik untuk pencairan batubara adalah katalis berbasis besi, karena besi oksida dengan penambahan sulfur dan besi sulfida dapat membentuk fasa aktif *pyrrhotite* ($Fe_{1-x}S$) serta dapat meningkatkan proses pencairan batubara.

Sumber katalis berbasis besi terdapat banyak di Indonesia, salah satunya berasal dari ampas proses pengolahan bijih tembaga PT. Freeport Indonesia (PT. FI). Hasil analisis kimia menunjukkan adanya mineral magnetit (Fe_3O_4) dan pirit (FeS_2) sebagai sumber katalis berbasis besi yang mengandung besi (Fe) dan sulfur (S). Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan ampas PT. FI sebagai katalis pencairan batubara dengan memfokuskan pada pengamatan pengaruh nisbah sulfur/besi (S/Fe) dan % besi terhadap produk pencairan.

Hasil penelitian menunjukkan nisbah S/Fe yang rendah dapat meningkatkan hasil konversi gas dan distilat minyak. Konversi gas dan minyak pada nisbah S/Fe 0,90 sebesar 64,3%, sedangkan pada nisbah S/Fe 2,06 sebesar 56,17 %. Peningkatan persentase besi pada nisbah S/Fe yang tetap, tidak berpengaruh banyak terhadap hasil konversi gas dan distilat minyak, dengan rata-rata perolehan gas dan distilat minyak sebesar 61,3% pada kadar besi 0,78 - 3,12%.

Kata kunci: pencairan batubara, ampas, katalis, pirit, magnetit, distilat minyak

ABSTRACT

Due to limitation of oil supply in Indonesia, various efforts have been carried out to gain alternative energy besides oil. Coal liquefaction is one of the efforts to get the oil from coal. In such as process liquefaction, catalyst is a main key to get more economic oil as it will accelerate reaction and to increase oil conversion product. Iron base catalyst is the best catalyst for coal liquefaction as the Fe oxide with the addition of sulfur and sulfide iron form pyrrhotite active phase ($Fe_{1-x}S$) that takes part in the coal liquefaction process.

There are many resources of iron base catalyst in Indonesia. One of them is taken from tailing disposal of PT. Freeport Indonesia (PT.FI). Chemical analysis shows that magnetite and pyrite are source of iron base catalyst.

Results of the research show that decreasing the S/Fe ratio will increase the conversion product of gas and oil distillate. Conversion product of gas and oil distillate at S/Fe ratio 0.9 is found 64.3%, while those conversion product of S/Fe ratio 2.06 is 56.17%. By increasing iron percentage in definite S/Fe ratio, there do not show any significant contribution of the conversion product of gas and oil distillate, where the conversion result rate of gas and oil distillate is found 61.3% for the iron content of 0.78% to 3.12%.

Keywords: coal liquefaction, tailing, catalyst, pyrite, magnetite, oil distillate

PENDAHULUAN

Ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar minyak (BBM) sangat tinggi dan sehubungan dengan menipisnya cadangan dan fluktuasi harga minyak bumi yang tajam dengan kisaran US\$ 142/barel menurun sampai di bawah US\$ 40/barel (*Kompas, 28 Juni 2008*), berdampak terhadap kebijakan Pemerintah sehingga harus segera merealisasi teknologi alternatif sumber bahan bakar cair pengganti minyak bumi antara lain melalui pencairan batubara. Usaha pencairan batubara menjadi sangat ekonomis karena ongkos produksi pencairan batubara saat ini sekitar US\$ 30/barel (*Anonim, 2006*). Oleh karena itu, penelitian pencairan batubara harus terus dilanjutkan dan dikembangkan sehingga didapat alternatif pencairan yang ekonomis dan dapat dikomersialisasi.

Bahan baku pencairan batubara yang utama adalah batubara peringkat rendah karena reaktif dan mudah dicairkan. Jumlah cadangan batubara Indonesia peringkat rendah dan sedang dengan nilai kalor < 6100 kal/gram (adb) adalah 90,73 juta ton atau 86,61% dari total sumber daya batubara Indonesia (*Pusat Sumber Daya Geologi, 2008*).

Faktor utama yang harus diperhatikan pada proses pencairan batubara adalah jenis batubara, nisbah batubara/pelarut dan penggunaan katalis. Penggunaan katalis merupakan faktor penentu karena sifatnya yang mempercepat reaksi sekaligus berpengaruh terhadap hasil konversi batubara menjadi bahan bakar cair. Katalis yang digunakan merupakan katalis berbasis besi dan molibdenum (*Ningrum dan Prijono, 2003*) menghasilkan produk minyak yang tinggi. Namun harga katalis tersebut cukup tinggi sehingga perlu dilakukan penelitian penggunaan katalis berbasis besi yang lebih ekonomis dibandingkan dengan katalis yang berbasis molibdenum. Katalis besi jika ditambahkan sulfur akan membentuk *pyrrhotite* yang merupakan fasa aktif dalam mempercepat pencairan batubara.

Sariman, dkk (2005) melakukan penelitian pencairan batubara menggunakan katalis berbasis besi, laterit pada temperatur reaksi 400°C dan waktu reaksi

dipertahankan selama 60 menit. Konversi hidrogenasi total yang diperoleh sebesar 97,67%. Pada penelitian tersebut diamati proses perubahan senyawa besi menjadi senyawa aktif *pyrrhotite* ($Fe_{1-x}S$) melalui uji sulfidasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa katalis berbasis besi dapat membentuk *pyrrhotite* pada suhu kerja pencairan batubara, keaktifan *pyrrhotite* tersebut tergantung dari ukuran kristal *pyrrhotite*. Peningkatan ukuran kristal *pyrrhotite* akan menurunkan produk batubara cair.

Katalis berbasis besi dapat berasal dari sumber besi atau pirit yang jumlahnya berlimpah di Indonesia, salah satunya adalah ampas proses pengolahan bijih tembaga PT. Freeport Indonesia (PT. FI). Untuk memanfaatkan ampas ini maka telah dilakukan penelitian pencairan batubara dengan menggunakan ampas dari PT. FI sebagai katalis. Tulisan ini membahas kemampuan ampas PT. FI sebagai katalis berbasis besi untuk proses pencairan batubara dan juga untuk mendapatkan parameter proses (nisbah S/Fe dan % besi) yang optimal untuk menghasilkan produk minyak yang tinggi. Penelitian dilakukan di laboratorium Kelompok Program Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara, Puslitbang tekMIRA.

TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan Ampas Sebagai Katalis

Sejak melakukan penambangan dari tahun 1973 hingga saat ini, PT. FI telah membuang jutaan ton ampas hasil pengolahan, mulai 7.275 ton/hari pada tahun 1973 meningkat sampai 31.040 ton/hari pada tahun 1988 dan saat ini berdasarkan laporan terakhir tahun 2007 dari Pusat Sumber Daya Geologi telah mencapai 223.100 ton/hari (*Pohan, dkk., 2007*). Ampas tersebut dibuang ke sungai Ajkwa sehingga terbentuk endapan yang dikenal dengan daerah pengendapan Ajkwa yang dimodifikasi (Mod ADA) yang akan menutupi areal seluas 230 km² atau 23.000 ha (*Pohan, dkk., 2007*).

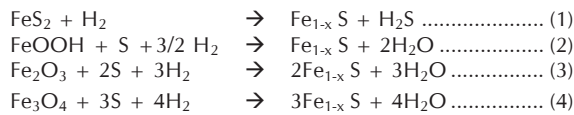
Berdasarkan data yang ada, dilakukan upaya untuk memanfaatkan ampas tersebut. Salah satu

pemanfaatan ampas adalah sebagai katalis dalam proses pencairan batubara karena mengandung unsur besi dan sulfur yang dapat dimanfaatkan dalam membentuk fasa aktif (sebagai *pyrrhotite*) dalam pencairan batubara.

Peranan Katalis dalam Pencairan Batubara

Katalis berbasis besi merupakan katalis yang dapat digunakan untuk proses pencairan batubara karena efisien dalam pembiayaan dan jumlahnya cukup banyak ada di alam. Katalis berbasis besi umumnya digunakan bersama dengan penambahan molekul sulfur atau H₂S pada pencairan batubara langsung.

Katalis berbasis besi sulfur diketahui secara cepat tertransformasi menjadi *pyrrhotite* (Fe_{1-x}S) pada suhu dan tekanan tertentu serta mempercepat konversi batubara menjadi produk cair. Menurut Kaneko dkk (1997), *pyrrhotite* terbentuk dari reaksi baik oleh pirit (FeS₂), goetit (FeOOH), hematit (Fe₂O₃), dan magnetit (Fe₃O₄) menurut reaksi:



Berdasarkan reaksi di atas, terbentuknya *pyrrhotite* dapat terjadi pada katalis besi dengan bantuan sulfur. Berdasarkan analisis kimia, ampas pengolahan bijih tembaga PT. FI mengandung magnetit dan pirit sehingga reaksi (1) dan (4) akan dominan terjadi dalam pembentukan *pyrrhotite* pada proses pencairan batubara. Perbedaan reaksi tersebut terjadi apabila ada penambahan sulfur untuk membentuk fasa aktif. Pada reaksi pirit (1), kehadiran sulfur tidak diperlukan dalam pembentukan *pyrrhotite* sedangkan

pada magnetit tetap diperlukan sulfur yang cukup agar reaksi pembentukan *pyrrhotite* dapat berlangsung.

METODOLOGI

Peralatan dan Bahan

Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk pencairan batubara antara lain: *autoclave* tipe *shaking* kapasitas 500 ml, peralatan ekstraksi, oven, neraca teknis, dan neraca analisis.

Autoclave

Perangkat *autoclave* terdiri atas reaktor yang berbentuk tabung silinder dengan diameter dalam 53 mm dan panjang 230 mm, volume 500 ml, dilengkapi dengan bola-bola *stainless steel* yang berfungsi mengaduk larutan dalam *autoclave* (Gambar 1).

Sokhlet

Terdiri atas labu ukur 500 ml dilengkapi dengan alat ekstraksi yang dihubungkan dengan penangas listrik. Alat ini berfungsi untuk mengekstraksi *slurry* dan residu hasil proses pencairan.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian pencairan batubara terdiri atas:

- Batubara Eco berasal dari batubara kalori rendah PT. Arutmin;
- Katalis berbasis besi berasal dari ampas PT. FI;
- Larutan organik n-heksana, larutan toluena, gas hidrogen, pelarut daur ulang (*recycle solvent*)
- Serbuk sulfur.



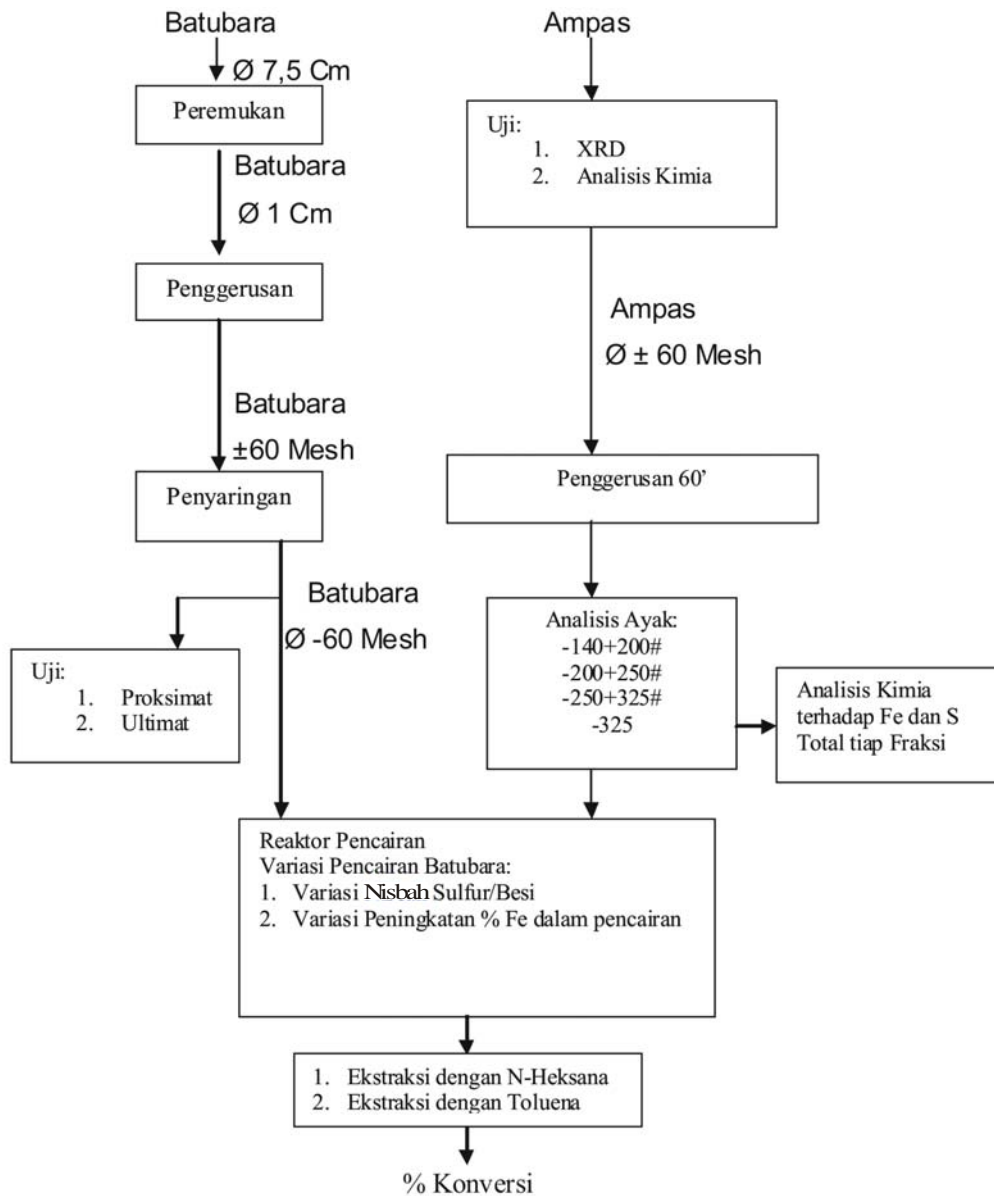
Gambar 1. *Autoclave* kapasitas 500 ml



Gambar 2. Alat sokhlet untuk ekstraksi

Skematik Proses Pencairan Batubara Secara Langsung

Skematik proses pencairan batubara langsung dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3. Alur percobaan pencairan batubara

Proses Percobaan

Variabel lain yang mempengaruhi proses pencairan batubara telah diuji oleh Tim Pencairan Batubara, Puslitbang tekMIRA, Badan Litbang Energi dan Sumber Daya Mineral menghasilkan produk

pencairan yang optimum sehingga dapat dijadikan acuan percobaan selanjutnya. Variabel tersebut adalah:

1. Tekanan awal H₂ dalam *autoclave* : 100 kgf/cm²
2. Temperatur reaksi dalam *autoclave* : 400±1 °C
3. Waktu tinggal reaksi : 60 menit (1jam)

4. Nisbah batubara/pelarut : 2/3
5. Ukuran butir batubara : -60 mesh

Batubara berukuran -60 mesh ditimbang sebanyak $\pm 12,0$ g, kemudian dikeringkan dalam oven pengering pada suhu 110°C dan contoh kering ditimbang ulang pada suhu kamar. Bahan-bahan lain yang ditambahkan adalah: 0,3 g sulfur, 0,7 g katalis (3% Fe dari berat batubara), 15,0 g *recycle solvent* (3:2 terhadap berat batubara *dried ash free*, daf). Semua bahan tersebut di atas berikut bola-bola baja dimasukkan ke dalam *autoclave* (Gambar 1). Selanjutnya sebelum digunakan *autoclave* ditutup rapat, kemudian dialiri gas hidrogen dengan tekanan ± 10 kgf/cm² untuk menghilangkan oksigen dalam *autoclave* sampai tiga kali. Selanjutnya dialirkan gas hidrogen pada tekanan operasi 100 kgf/cm², kemudian *autoclave* ditimbang kembali.

Setelah ditimbang *autoclave* dimasukkan ke dalam mantel pemanas. Pasang *thermocouple*, selanjutnya panel pengontrol dinyalakan dan amperemeter diatur sampai 20 Amper, suhu reaksi dalam *autoclave* diatur sampai 400°C . Pemanas dan motor penggerak dinyalakan, *autoclave* dipanaskan pada kecepatan 5°C per menit. Selama proses berlangsung *autoclave* digoyang dengan kecepatan konstan. Kenaikkan suhu terus diamati, setelah mencapai suhu reaksi 400°C dipertahankan selama 60 menit. Selanjutnya pemanas dan motor penggerak dimatikan dan reaktor didinginkan sampai mencapai suhu kamar. Produk yang dihasilkan berupa lumpur (*slurry*), dikeluarkan dari *autoclave* dengan menggunakan kapas dan ditampung dalam *silinder filter*. Selanjutnya *silinder filter* dan isinya diekstraksi dalam alat *sokhlet* (Gambar 2) menggunakan pelarut n-heksana, toluena. Residu hasil ekstraksi dikeringkan pada suhu 110°C , ditimbang, terakhir dihitung persentase konversi yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Batubara Terhadap Proses Pencairan Batubara

Analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor bertujuan untuk menentukan peringkat batubara dan pengaruhnya terhadap proses pencairan batubara. Berdasarkan hasil analisis batubara Eco (*Eco Coal*) merupakan batubara peringkat rendah dengan kadar air cukup tinggi (26,05%), kadar zat terbang (36,44%), kadar hidrogen (6,78%), kadar karbon (52,67%), dan nilai kalor (4669 kal/g). Berdasarkan PP No. 45 tahun 2009 tentang Pertambangan Min-

eral dan Batubara, batubara Eco masuk dalam kategori batubara kalori rendah, karena kadar air yang terkandung berkisar antara 10 sampai 70% dengan kalori < 5100 kal/g. Kandungan air yang tinggi pada batubara kurang menguntungkan untuk itu batubara harus dikeringkan pada suhu $105-110^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam.

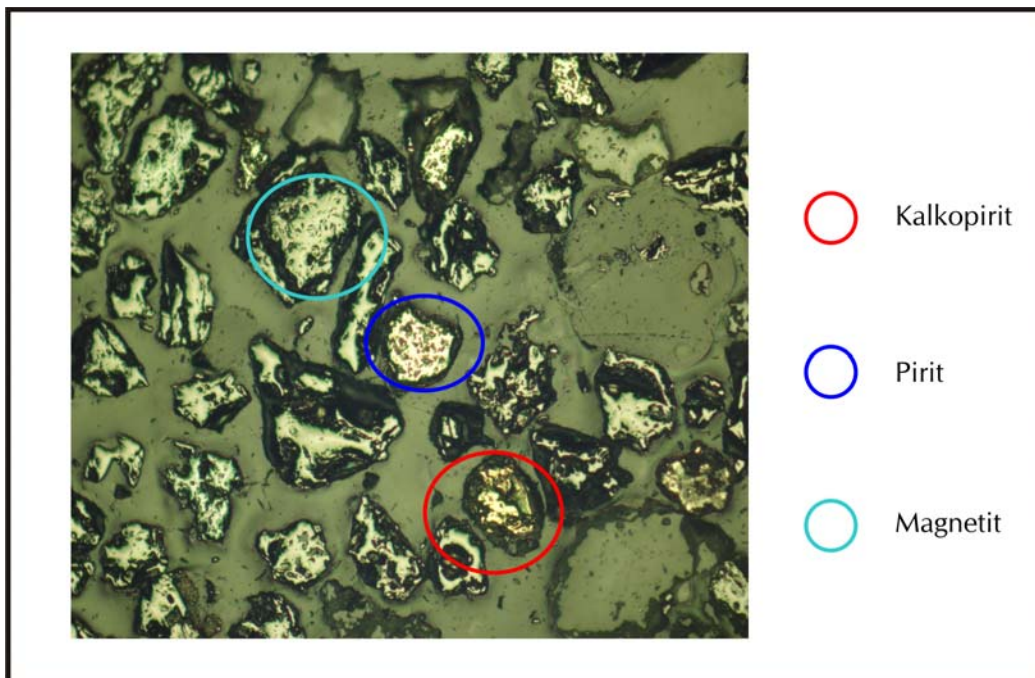
Semakin tinggi peringkat batubara, kandungan karbon akan semakin tinggi sehingga kandungan hidrogen semakin sedikit. Gugus fungsional dalam batubara umumnya mengandung oksigen yaitu: karboksil (-COOH), karbonil (=CO), fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), eter ($\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$, serta gugus oksigen tidak beraturan. Umumnya batubara peringkat rendah lebih banyak mengandung oksigen dibandingkan batubara peringkat tinggi. Kandungan oksigen cenderung tidak disukai dalam proses pencairan batubara karena keberadaannya akan memerlukan banyak hidrogen serta mengganggu aktivitas katalitik. Proses pencairan batubara tanpa katalis memperlihatkan produk konversi sebagai berikut: persentase konversi gas dan distilat minyak sebesar 41,85%, persentase konversi aspalten sebesar 15,01% dan persentase total konversi gas, minyak berat, serta aspalten sebesar 56,87%.

Hasil Analisis Contoh Ampas Sebagai Katalis

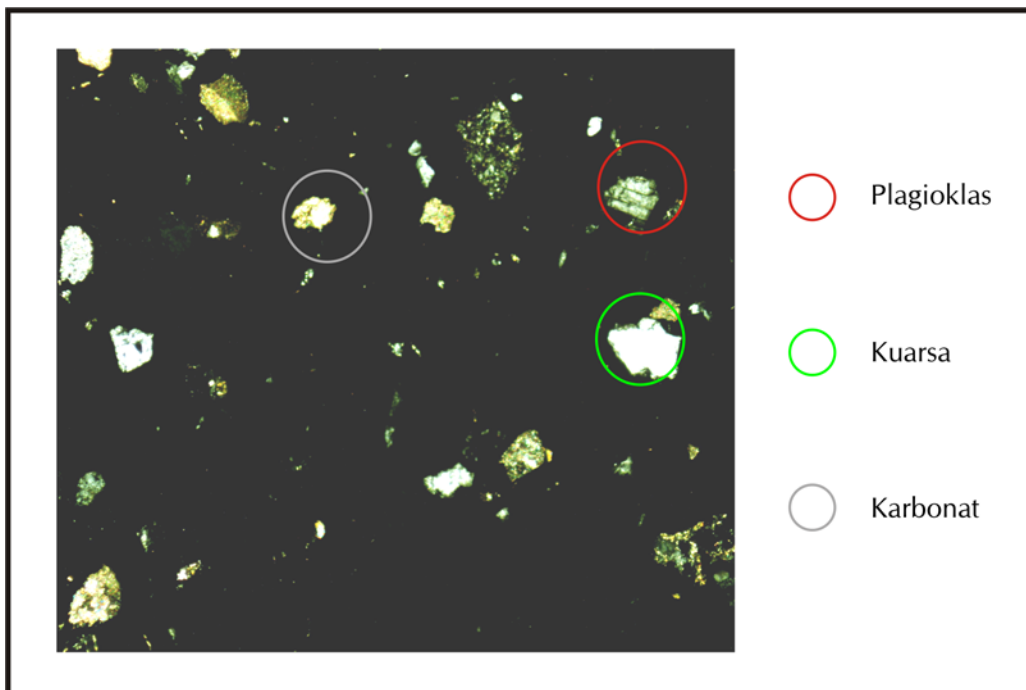
Kadar rata-rata besi pada ampas cukup besar karena adanya mineral-mineral yang mengandung besi seperti kalkopirit (CuFeS_2), pirit (FeS_2), magnetit (Fe_3O_4), ilmenit (FeTiO_2) seperti tampak pada foto mikro Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, kalkopirit (CuFeS_2) tampak seperti bentuk kristalin halus berwarna kuning terang dan jumlahnya tersebar merata. Sejumlah 20% tampak sebagai pirit (FeS_2) seperti tampak pada gambar dengan lingkaran warna biru. Sedangkan magnetit (Fe_3O_4) tampak seperti bentuk kristal halus berwarna putih terang. Jumlahnya cukup banyak hampir mencapai $\pm 55\%$ dan tersebar merata di dalam contoh ampas. Magnetit ini menjadi sumber besi bagi katalis pencairan batubara. Keberadaan kalkopirit dalam contoh ampas walaupun kecil ($\pm 2\%$) menunjukkan lolosnya kalkopirit ke dalam ampas sekaligus pengendapan telah terjadi. Selain itu, diperkirakan bahwa ampas yang dibuang dalam ModADA juga telah bercampur dengan mineral yang berasal dari badan sungai Akjwa yang menjadi daerah pengendapan Mod ADA.

Mineral nonmetal yang terdapat dalam ampas antara lain kuarsa, plagioklas, dan karbonat, seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 4. Gambar mikroskopis metalik contoh ampas PT. Freeport Indonesia (pembesaran 250X)



Gambar 5. Gambar mikroskopis nonmetalik contoh ampas PT. Freeport Indonesia (pembesaran 250X)

Mineral nonmetalik yang banyak ditemukan adalah kuarsa (SiO_2) sebanyak $\pm 10\%$ tersebar di antara mineral metal. Kuarsa tampak seperti kristal halus yang berwarna sangat terang. Selain itu, terdapat juga plagioklas sejumlah $\pm 8\%$ dalam bentuk kristal berwarna abu terang kehijauan dan karbonat $\pm 4\%$ berwarna abu-abu terang.

Berdasarkan hasil analisis kimia secara volumetri, contoh ampas mengandung besi total yang cukup tinggi yaitu rata-rata $56,55\%$. Sumber besi berasal dari magnetit sesuai dengan hasil XRD dan foto optik mikro sedangkan SiO_2 sebesar $\pm 10,1\%$. Tingginya kadar besi dalam ampas disebabkan oleh cara pengambilan contoh dari daerah Mod ADA yaitu dengan pendulangan. Dengan demikian mineral beratnya terambil sedangkan kuarsanya sebagian besar terbuang. Kadar magnetit dalam ampas dari Daerah Mod ADA yang diambil dengan cara didulang memiliki kadar magnetit rata-rata cukup tinggi yaitu 60% .

Pengaruh Nisbah S/Fe Terhadap Produk Pencairan Batubara

Nisbah S/Fe dihitung berdasarkan jumlah sulfur total yang terdapat dalam umpan pencairan, yaitu sulfur yang berasal dari batubara ($0,17\%$, adb), sulfur yang berasal dari katalis ($4,86\%$), dan serbuk sulfur yang ditambahkan untuk mencapai nisbah S/Fe yang diinginkan. Tabel 1 memperlihatkan hasil

perhitungan nisbah S/Fe yang berasal dari ampas dengan ukuran -325 mesh sebesar $4,86\%$.

Fasa aktif terjadinya proses pencairan adalah terbentuknya *pyrrhotite*. *Pyrrhotite* ini terbentuk dari reaksi yang terjadi antara pirit (FeS_2), goetit (FeOOH), hematit (Fe_2O_3), dan magnetit (Fe_3O_4) dengan sulfur. Berdasarkan hasil foto mikroskopis pada contoh ampas, senyawa besi dan besi sulfida yang ada antara lain:

FeS_2	: $\pm 15\%$
Fe_3O_4	: $\pm 20\%$
Total Fe	: $53,1\%$
Total S	: $4,86\%$

Reaksi yang terjadi dalam pembentukan *pyrrhotite* adalah sesuai reaksi (1) dan (4). Pada reaksi pirit, kehadiran sulfur tambahan tidak diperlukan, tetapi kandungan hidrogen yang ada harus cukup agar reaksi transfer hidrogen dapat berlangsung dengan baik. Pada magnetit, penambahan sulfur diperlukan agar terjadi reaksi magnetit menjadi *pyrrhotite*. Berdasarkan hasil percobaan diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

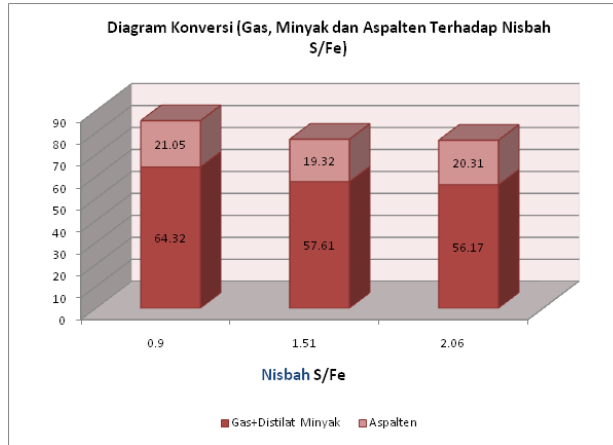
Dari hasil percobaan, terlihat bahwa pada nisbah S/Fe $0,9$ produk minyak yang dihasilkan relatif banyak yaitu sebesar $64,32\%$. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pirit menjadi *pyrrhotite* memegang peranan cukup besar dalam pencairan batubara. Jumlah sulfur berlebih tidak memberikan peningkatan produk

Tabel 1. Hasil perhitungan nisbah S/Fe

No	Umpan Batubara (gram)	Batubara (mafc)	Umpan Katalis (gram)	Jumlah sulfur ($0,17\%$) dalam batubara (gram)	Jumlah sulfur ($4,86\%$) dalam katalis (gram)	Jumlah sulfur yang ditambahkan (gram)	Total S (gram)	Jumlah Fe (gram)	Nisbah Aktual
1	128,672	122,062	0,5369	0,0219	0,0261	0,21	0,2580	0,2851	0,90
2	131,526	121,076	0,5383	0,0224	0,0262	0,3839	0,4324	0,2858	1,51
3	123,041	114,483	0,5081	0,0209	0,0247	0,5112	0,5568	0,2698	2,06

Tabel 2. Hasil produk konversi gas dan distilat minyak dan aspalten pada berbagai variasi nisbah S/Fe

No	Nisbah Aktual S/Fe	Konversi dengan n-Heksana (%) Minyak	Konversi dengan Toluena (%) Aspalten	(%) Total Konversi dengan n-Heksana dan Toluena
1	0,90	64,32	21,05	85,36
2	1,51	57,61	19,32	76,92
3	2,06	56,17	20,31	76,48



Gambar 6. Diagram peningkatan nisbah S/Fe terhadap produk konversi minyak terlarut dalam n-heksana dan toluena

hasil minyak berat dan aspalten. Penambahan 0,21 gram sulfur yang secara keseluruhan membentuk nisbah S/Fe sebesar 0,9 dapat menghasilkan minyak terlarut secara keseluruhan yang terlarut dalam n-heksana dan toluena sebanyak 85,36%.

Pada nisbah S/Fe 1,51 diperoleh penurunan produk konversi baik minyak terlarut dalam n-heksana maupun terlarut dalam toluena masing-masing sebesar 57,61% dan 19,32%. Dengan demikian total keseluruhan konversi minyak terlarut dalam n-heksana dan toluena adalah 76,92%. Pada peningkatan nisbah S/Fe hingga 2, terjadi penurunan pada konversi minyak terlarut dalam n-heksana menjadi 56,17%, tetapi ada sedikit peningkatan pada konversi minyak terlarut dalam toluena menjadi

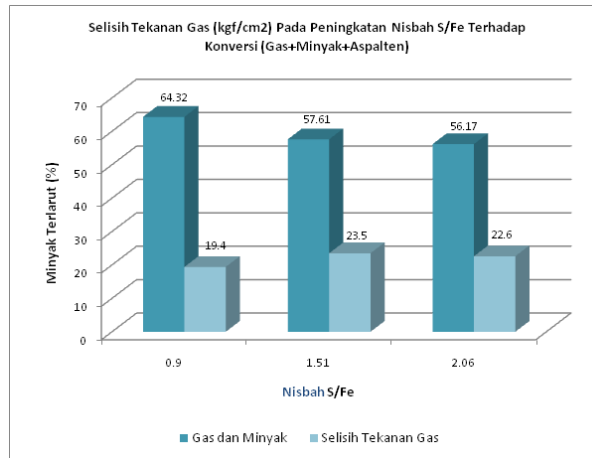
20,31%. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan peningkatan nisbah S/Fe dari 0,9 sampai dengan 2 menyebabkan terjadinya penurunan produk konversi gas, minyak terlarut dalam n-hexana dan toluena. Fenomena ini disebabkan karena jumlah belerang yang berlebih, bila jumlah belerang ditambahkan berlebih akan banyak terbentuk gas H₂S. Nisbah aktual S/Fe = 0,9 nampaknya sudah cukup tinggi sehingga peningkatan nisbah S/Fe selanjutnya menurunkan konversi batubara dan meningkatkan pembentukan gas hasil pencairan batubara. Hal ini tampak dari penambahan produk gas antara lain H₂S yang meningkat sejalan dengan peningkatan nisbah S/Fe dan tekanan gas akhir, dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil penambahan gas pada peningkatan nisbah S/Fe

No	Nisbah Aktual S/Fe	Konversi Gas dan Minyak (%)	Gas Awal = Gas Hidrogen (gram)	Gas Akhir = Sisa Gas Hidrogen dan Gas Produk (gram)	Penambahan Gas (gram)
1	0,90	64,32	4	51,053	11,053
2	1,51	57,61	3	44,705	14,705
3	2,06	56,17	2,5	46,031	21,031

Tabel 4. Hasil peningkatan gas akhir pada peningkatan nisbah S/Fe

No	Nisbah Aktual S/Fe	Konversi Gas dan Minyak (%)	Tekanan Gas Awal (kgf/cm ²)	Tekanan Gas Akhir (kgf/cm ²)	Selisih Tekanan Gas (kgf/cm ²)
1	0,90	64,32	100,3	80,9	19,4
2	1,51	57,61	100,4	76,9	23,5
3	2,06	56,17	100,4	77,8	22,6



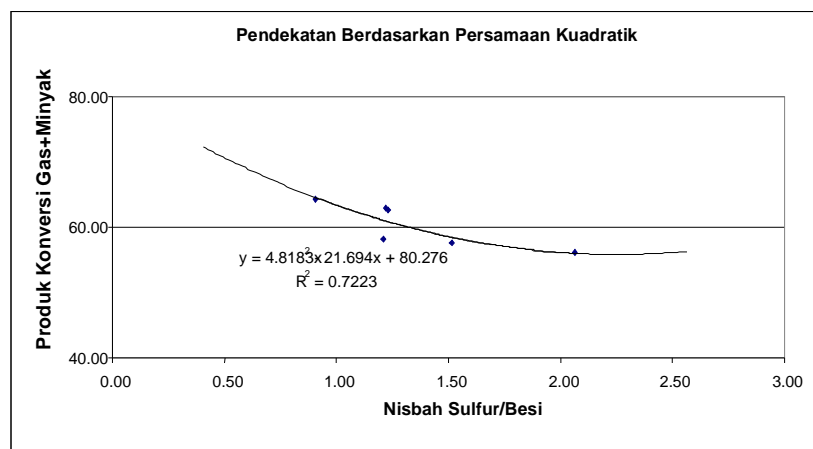
Gambar 7. Diagram peningkatan nisbah S/Fe terhadap selisih tekanan gas akhir dan produk konversi gas dan minyak berat serta aspalten

Jumlah hidrogen yang cukup akan membantu terjadinya reaksi transfer hidrogen pada proses pencairan, dan mencegah terjadinya reaksi polimerisasi.

Aktifitas katalitik dari $Fe_{1-x}S$ adalah hasil dari kekosongan besi dan keberadaan sulfur penting untuk menjaga permukaan $Fe_{1-x}S$. Keberadaan sulfur efektif tidak hanya menjaga *stoichiometry* (perhitungan jumlah unsur atau senyawaan kimia dalam suatu reaksi) kurang besi dan kaya sulfur tetapi juga berfungsi menahan pertumbuhan kristal *pyrrhotite* pada kondisi pencairan. Untuk katalis pirit, ukuran kristalit dari *pyrrhotite* tidak nampak berpengaruh dengan penambahan sulfur. Ini menunjukkan adanya perbedaan dari mekanisme terbentuknya *pyrrhotite*

dari pirit (FeS_2) dan goetit ($FeOOH$) (Garg, et al., 1982). Hal ini tampak pada hasil penelitian yang menunjukkan bahwa penambahan sulfur tidak menyebabkan peningkatan produk konversi (gas dan minyak) yang terlarut dalam n-heksana dan toluena. Nisbah S/Fe 0,9 akan memberikan hasil yang maksimal hingga 85,37% konversi minyak terlarut dalam n-heksana dan toluena dari batubara yang dicairkan.

Untuk pemodelan matematika dapat dibuat dengan pendekatan berdasarkan persamaan kuadrat, sehingga diperoleh bahwa peningkatan nisbah S/Fe akan menurunkan perolehan gas dan distilat minyak hingga titik tertentu, seperti tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik kurva pendekatan berdasarkan persamaan kuadrat terhadap peningkatan nisbah S/Fe

Pengaruh Persentase Besi terhadap Produk Pencairan Batubara

Tabel 5 memperlihatkan hasil perhitungan persentase besi yang dimasukkan ke dalam batubara. Penambahan persentase besi terhadap batubara pada nisbah S/Fe yang tetap yaitu 1,2 tidak terlalu memberi pengaruh terhadap hasil minyak yang terlarut dalam n-heksana dan toluena (Tabel 6). Pengaruh besi sebesar 0,78% dalam umpan pencairan dapat memberikan hasil perolehan minyak yang cukup asalkan jumlah sulfur yang ditambahkan sesuai dengan percobaan sebelumnya yaitu pada nisbah S/Fe=0,9. Hal ini cenderung disebabkan oleh

penambahan besi yang berlebih akan membentuk *pyrrhotite* yang mempunyai bentuk kristal yang berbeda sehingga ukuran kristalnya juga akan berbeda yang kemungkinan bisa sebagai penghambat bukan sebagai katalis. Penambahan jumlah Fe 0,09 gram atau % Fe aktual 0,78% sudah cukup. menghasilkan total konversi 79,64%.

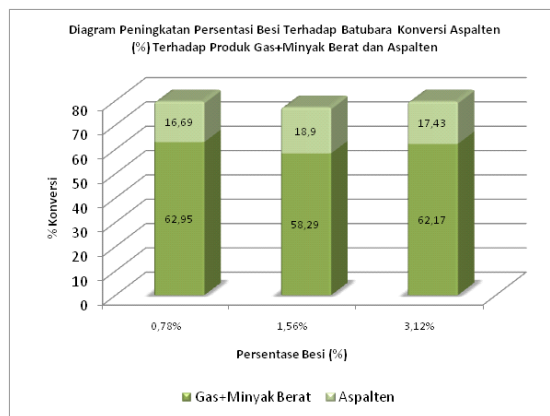
Gambar 9 menunjukkan bahwa persentase besi 0,78% hingga 2% dengan nisbah S/Fe tetap yaitu 1,2 diperoleh hasil konversi pencairan gas, minyak dan aspalten yang tidak terlalu berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa persentase besi yang tinggi pada batubara tidak memberikan pengaruh signifikan

Tabel 5. Hasil perhitungan persentase besi

No	Umpan Batubara (gram)	Batubara (mafc)	Umpan Katalis (gram)	Jumlah kuarsa yang ditambah (gram)	Jumlah Sulfur (0,17%) dalam batubara (gram)	Jumlah sulfur (4,86%) dalam katalis (gram)	Jumlah Sulfur yang ditambah (gram)	Total S (gram)	Jumlah Fe (gram)	Nisbah Aktual	% Fe aktual terhadap batubara (mafc)
1	128,672	12,11	0,1768	0,5305	0,0219	0,0086	0,0842	0,1147	0,0939	1,22	0,78%
2	124,979	120,406	0,3537	0,3533	0,0212	0,0172	0,1888	0,2272	0,1878	1,21	1,56%
3	123,041	120,191	0,7073	0	0,0209	0,0344	0,4066	0,4619	0,3756	1,23	3,12%

Tabel 6. Hasil konversi gas+distilat minyak dan aspalten terhadap persentase besi pada berbagai variasi % Fe

No	% Fe Aktual thd Batubara (mafc)	Konversi Gas dan Minyak (%)	Konversi Aspalten (%)	Total Konversi (Gas + Minyak dan Aspalten) (%)
1	0,78%	62,95	16,69	79,64
2	1,56%	58,29	18,9	77,19
3	3,12%	62,7	17,43	80,12



Gambar 9. Diagram peningkatan persentase besi terhadap % konversi (gas+distilat minyak dan aspalten)

terhadap produk pencairan.

85,36 menjadi 76,48%.

Hasil yang ditunjukkan pada percobaan sebelumnya dengan menggunakan nisbah S/Fe antara 0,9% hingga 3% menunjukkan bahwa nisbah S/Fe memegang peran penting dalam proses pencairan batubara dibandingkan jumlah persentase besi dalam umpan batubara. Hal ini dapat dilihat pada selisih tekanan gas akhir yang diperoleh pada penambahan persentase besi seperti yang tertera pada Tabel 7.

4. Penambahan produk gas meningkat dari 1,11 menjadi 2,10 gram dengan meningkatnya nisbah S/Fe dari 0,9 sampai 2,0.
5. Penambahan persentase besi (Fe) terhadap batubara pada nisbah S/Fe yang tetap tidak terlalu berpengaruh terhadap produk pencairan batubara. Penambahan Fe sebanyak 0,78%

Tabel 7. Tabel selisih tekanan gas akhir pada peningkatan persentase besi

No	% Fe Aktual thd Batubara (mafc)	Tekanan Gas Awal (kgf/cm ²)	Tekanan Gas Akhir (kgf/cm ²)	Selisih Tekanan Gas (kgf/cm ²)
1	0,78%	100	76,7	23,3
2	1,56%	100,4	76,7	23,7
3	3,12%	100,5	76,3	24,2

Kaneko et. al. (1997) menyatakan bahwa peningkatan persentase (%) Fe terhadap batubara akan berpengaruh terhadap produk pencairan, jika nisbah S/Fe mengalami penurunan, peningkatan persentase besi dengan kadar sulfur tetap akan meningkatkan produk pencairan.

sampai dengan 2,13% terhadap batubara pada nisbah S/Fe 1,2 hanya menghasilkan konversi gas dan minyak serta aspalten sebesar 79,64 sampai 80,12%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Ampas pengolahan bijih tembaga PT. Freeport Indonesia dapat digunakan sebagai katalis dalam proses pencairan batubara. Ampas PT. Freeport Indonesia mengandung magnetit (Fe₃O₄) dan pirit (FeS₂).
2. Peningkatan nisbah S/Fe dari 0,9 sampai 2,0 menyebabkan terjadinya penurunan pada konversi minyak terlarut dalam n-heksana dari 64,32 menjadi 56,17%, tetapi ada sedikit peningkatan pada konversi minyak terlarut dalam toluena menjadi 20,31%.
3. Peningkatan nisbah S/Fe dari 0,9 sampai 2,0 menyebabkan terjadinya penurunan konversi minyak terlarut dalam n-hexana dan toluena dari

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variabel fraksi ukuran katalis ampas pengolahan bijih tembaga dan waktu reaksi proses pencairan batubara.
2. Perlu penelitian pengembangan pemanfaatan ampas PT. Freeport Indonesia karena jumlahnya sangat banyak dan mengandung unsur besi yang signifikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Puslitbang tekMIRA yang telah memberikan fasilitas untuk melakukan penelitian, serta ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PT. Freeport Indonesia (PT. FI) yang telah memberikan kesempatan untuk penelitian ampas pengolahan bijih tembaga sebagai katalis dalam pencairan batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2006. *Laporan Seminar Nasional Pencairan Batubara, Ladang Minyak Masa Depan*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Garg, D. and Given, E.N., 1982. Pyrite Catalyst in Coal Liquefaction, *Ind. Eng. Chem. Process Des.Dev.*, Vol.21 No 1, p.113 – 117.
- Kaneko, T.K., Shimasaki, T.K. and Kageyama, Y., 1997. *Transformation of Iron Catalyst to The Active Phase in Coal Liquefaction*, Takasago Research Laboratory, Nippon Brown Coal Liquefaction Co.,Ltd. Japan.
- Kompas, 2008. *Harga Minyak 142 Dollar AS*, Sabtu, 28 Juni 2008, hal 11.
- Ningrum, N.S. dan Prijono, H., 2003. Transformasi Katalis Besi Menjadi *Pyrrhotite* Pada Proses Pencairan Batubara, *Prosiding Kolokium Energi dan Sumber Daya Mineral*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia.
- Pohan, M.P., Denni W., Sabtanta J.S. and Asep A., 2007. Penyelidikan Potensi Bahan Galian Pada Ampas PT Freeport Indonesia Di Kabupaten Mimika, Propinsi Papua, *Prosiding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan Tahun 2007*, Pusat Sumber Daya Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia.
- Pusat Sumber Daya Geologi, 2008. *Sumberdaya Batubara Indonesia*, PSG Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia.
- Sariman, Suratman, Handayani, S., Rochani, S., Prijono, H., Pramusanto, Suhendar, Sutanto, A., and Yustiani, Y., 2005. Pemanfaatan Katalis Limonit untuk Proses Pencairan Batubara, *Laporan Penelitian Pusat Penelitian Teknologi Mineral dan Batubara*, 23 halaman.