

# PENGAJIAN PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL DAN KROM PADA KATALIS BERBASIS BESI UNTUK PENCAIRAN BATUBARA

NINING SUDINI NINGRUM, SUGANAL dan HERMANU PRIJONO

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman No. 623, Bandung 40211  
e-mail : ninings@tekmira.esdm.go.id

## SARI

Penelitian pencairan batubara berdasarkan metode hidrogenasi menggunakan katalis berbasis besi telah dikembangkan oleh banyak peneliti untuk mendapatkan bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi. Katalis merupakan faktor yang penting dalam pencairan batubara. Di antara logam transisi, besi merupakan kandidat utama katalis pencairan batubara karena harganya relatif murah. Suatu senyawaan besi dapat digunakan sebagai katalis dalam proses pencairan batubara, apabila bahan tersebut mampu membentuk mineral pirhotit ( $Fe_{1-x}S$ ) yang merupakan senyawa aktif dalam pencairan batubara. Untuk mengetahui terbentuk atau tidaknya pirhotit, maka dilakukan penelitian menggunakan bahan katalis berbasis besi, direaksikan dengan sulfur (S), pelarut (antrasen) dan gas hidrogen ( $H_2$ ) pada tekanan awal 100 bar. Bahan katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis sintesis goetit dengan penambahan nikel (Ni) sebanyak 0,50, 1,00 dan 1,50% dan katalis sintesis  $Fe_2O_3 + Ni + Si$  dengan penambahan oksida krom ( $CrO_3$ ) sebanyak 2,0, 5,0 dan 7,0%. Variabel lainnya adalah suhu proses sulfidasi dilakukan pada 300, 350 dan 400°C .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran kristal pirhotit terkecil terjadi pada sulfidasi katalis sintesis goetit dengan penambahan logam nikel (Ni) 1,0% pada suhu 400°C sedangkan untuk sulfidasi katalis sintesis  $Fe_2O_3 + Ni + Si$  ukuran terkecil terjadi dengan penambahan oksida krom ( $CrO_3$ ) sebesar 2% pada suhu 400°C.

Kata Kunci: Hidrogenasi, pirhotit, katalis goetit

## ABSTRACT

*Coal liquefaction research based on hydrogenation method using iron base catalyst has been developed to produce alternative oil fuel substituting petroleum. Catalyst is an important factor in coal liquefaction. Among transition metal, iron is the most promising candidate as a catalyst for coal liquefaction due to its lower price. An iron compounds can be used as catalyst in coal liquefaction if it forms pyrrhotite ( $Fe_{1-x}S$ ) mineral that is presumed as an active compound in the coal liquefaction process. The material was reacted on sulfur (S), solvent (anthracene), and hydrogen ( $H_2$ ) at 300-400°C temperature and initial pressure of 100 bar, in order to investigate the formation of pyrrhotite. The catalyst material used in this research was synthetic goethite added nickel (Ni) of 0.5, 1.0, and 1.5% and  $Fe_2O_3 + Ni + Si$  synthetic catalyst chrome (Cr) of 2.0, 5.0, and 7.0%.*

*Result of this research shows that goethite with 1.0% of nickel sulfidized at temperature of 400°C and  $Fe_2O_3 + Ni + Si$  added with 2.0% of  $CrO_3$  sulfidized at temperature 400°C yielded the smallest pyrrhotite crystal or the biggest surface area of pyrrhotite crystal.*

*Keywords : Hydrogenation, pyrrhotite, catalyst goethite.*

## PENDAHULUAN

Batubara sebagai salah satu bahan bakar alternatif, selain digunakan sebagai bahan bakar langsung juga dapat dikonversikan menjadi bahan bakar cair. Telah dikembangkan banyak metode pengolahan agar batubara dapat lebih memberikan manfaat bagi kehidupan manusia. Saat ini sedang dikembangkan metode pencairan batubara dengan tujuan untuk menggantikan fungsi minyak bumi yang jumlah cadangannya kian hari kian menipis seiring dengan semakin bertambahnya populasi manusia dengan beranekaragam kebutuhannya.

Proses pencairan batubara tidak dapat dilepaskan dari penggunaan zat tertentu yang berfungsi sebagai katalis agar diperoleh hasil cairan dengan jumlah yang lebih banyak tetapi pada kondisi reaksi yang lebih ringan dibandingkan dengan kondisi reaksi yang umum. Perkembangan mengenai suatu katalis yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan adalah kunci keberhasilan untuk memperkenalkan dan memproduksi pencairan batubara secara langsung (direct coal liquefaction).

Secara umum katalis yang digunakan dalam pencairan batubara digolongkan dalam tiga kelompok yaitu:

1. Katalis buatan/sintetis : CoMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, SnS.
2. Katalis mineral : Pyrit (FeS), kasiterit (SnO<sub>2</sub>), limonit (FeOOH) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
3. Katalis yang berasal dari limbah industri seperti red mud

Diantara katalis-katalis tersebut di atas, katalis mineral mempunyai harga yang lebih murah dan kereaktifannya relatif sama dengan katalis sintetis. Katalis mineral ditemukan dalam batuan yang mengandung mineral oksida seperti laterit, pasir besi dan lain-lain.

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan pengujian terhadap beberapa jenis bahan katalis berbasis besi dan pengaruh unsur logam Ni serta oksida krom (CrO<sub>3</sub>) pada pembentukan senyawa aktif pirhotit Fe<sub>1-x</sub>S. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui sifat bahan katalis berbasis besi yang mengandung unsur logam Ni dan oksida krom (CrO<sub>3</sub>) dalam pembentukan besar kecilnya kristal pirhotit yang terbentuk pada pencairan batubara.

## LATAR BELAKANG TEORI

### Katalis

Katalis adalah suatu zat atau senyawa yang ikut berperan dalam mengubah kecepatan reaksi dan arah reaksi tetapi tidak dikonsumsi pada proses serta tidak mengalami perubahan kimia selama reaksi berlangsung tetapi keadaan fisik dari katalis dapat berubah. Suatu katalis menyediakan mekanisme reaksi alternatif yang lebih cepat dibandingkan reaksi tanpa katalis.

Peranan katalis dalam pencairan batubara adalah membantu memasukkan atom hidrogen yang berasal dari disosiasi molekul hidrogen ke dalam batubara atau campuran batubara dengan pelarut sehingga menaikkan ketersediaan hidrogen aktif. Hidrogen tersebut berfungsi untuk menghidrogenasi senyawa aromatik, mempromosikan reaksi pemutusan ikatan dan menstabilkan radikal bebas. Dengan menggunakan katalis, reaksi hidrogenasi antara gas hidrogen dan batubara yang telah terfragmentasi akibat panas berlangsung dengan sangat cepat (Hirano dan Kanda, 2001). Dalam proses pencairan batubara, katalis berperan untuk meningkatkan konversi total dan produk minyak yang diharapkan, serta berpengaruh terhadap pemakaian hidrogen dan mempercepat jalannya reaksi kimia yang berlangsung. Selain itu katalis berperan dalam reaksi rehidrogenasi pelarut donor hidrogen, dapat menaikkan jumlah hidrogen yang dipindahkan dan memperkecil produk batubara yang menjadi gas (Derbyshire, 1988).

Pemilihan katalis untuk pencairan batubara tergantung dari beberapa faktor terutama adalah faktor keaktifannya. Banyak faktor yang mempengaruhi keaktifan katalis dalam pencairan batubara antara lain kadar besi, kadar belerang, luas permukaan, unsur pengotornya dan jenis mineral penyusunnya. Sebagai contoh, katalis yang dapat dibuang seperti besi oksida mempunyai kelebihan, yaitu harga yang cenderung murah karena katalis ini tidak membutuhkan biaya untuk proses pemisahan atau proses pengambilan katalis kembali.

Dari suatu reaksi yang berlangsung, katalis yang digunakan akan tetap ada dan tidak mengalami perubahan kimia yang permanen. Reaksi terkatalisis dapat dibagi menjadi reaksi terkatalisis homogen dan reaksi terkatalisis heterogen. Pada reaksi terkatalisis homogen, fasa dari sistem reaksi dan fasa katalis adalah sama, sedangkan pada reaksi terkatalisis heterogen, fasa dari sistem reaksi berbeda dengan fasa dari katalis.

### Katalis Berbasis Besi

Katalis berbasis besi merupakan suatu katalis yang berasal dari mineral yang mengandung besi. Katalis berbasis besi mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya dapat berfungsi lebih lama dalam reaktor dan tidak memerlukan regenerasi sehingga dapat menyederhanakan teknologi sirkuitnya, disamping itu juga harganya relatif murah. Beberapa katalis berbasis besi yang telah dikembangkan adalah Limonit, Pirit dan Laterit (Kaneko et.al, 2000; Cugini et.al,1994). Hasil penelitian Kaneko (2002) menunjukkan bahwa limonit terlihat sangat baik untuk dijadikan katalis pada proses pencairan batubara. Limonit alam mengandung bermacam-macam unsur logam, diantaranya Fe, Ni, Cr, Co, Mg, Al dan unsur lainnya. Limonit dari Inalahi, Soroako, Sulawesi Selatan mengandung Fe 48,6 %, Ni 0,63 %, Cr 4,72 %, Co 0,009% dan SiO<sub>2</sub> 2,55 %. Dalam penelitian ini dilakukan uji coba terhadap mineral berbasis besi (Goetit buatan dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dengan ruang lingkup yang lebih terfokus lagi yaitu mengamati pengaruh penambahan Ni dan Cr (dalam CrO<sub>3</sub>) terhadap pembentuk ukuran kristal pirhotit. Dalam pelaksanaan penelitian dilakukan juga penambahan SiO<sub>2</sub> yang berfungsi sebagai pengencer, karena tidak mempengaruhi terbentuknya pirhotit.

### Pembentukan Fasa Aktif Pirhotit

Aktivitas katalis sangat dipengaruhi pula oleh dispersi katalis yang tergantung pada ukuran kristal katalis. Selain memiliki aktivitas yang tinggi katalis terdispersi adalah harganya murah karena biasanya langsung dibuang.

Aktivitas katalis berbasis besi akan bertambah baik apabila ditambahkan sulfur karena dengan adanya sulfur menyebabkan katalis besi terkonversi menjadi pirhotit yang merupakan puncak aktif katalis besi sulfur dengan kemampuan katalitik yang baik (Yokohama S,1986). Transformasi senyawa besi menjadi pirhotit (Fe<sub>1-x</sub>S) diteliti melalui proses sulfidasi katalis dengan penambahan sulfur tanpa umpan batubara pada kondisi pencairan.

Komposisi kimia pirhotit dapat berubah yang diindikasikan oleh nilai (1-x) dalam rumus Fe<sub>1-x</sub>S.

Nilai (1-x) bervariasi antara 0,838 pada suhu 300°C pada α-FeOOH dan 0,936 pada suhu 450°C untuk ferrihidrit. Komposisi kimia pirhotit tergantung pada suhu dan jumlah sulfur yang ditambahkan.

### Identifikasi Kristal Pirhotit

Pengukuran kristal pirhotit sebagai hasil reaksi sulfidasi dapat dilakukan dengan analisa difraksi sinar-X (XRD). Suhu sulfidasi yang digunakan bervariasi antara 300 – 400°C. Pirhotit mempunyai rumus kimia Fe<sub>1-x</sub>S dengan harga X berkisar antara 0 – 0,17. Penentuan besarnya ukuran kristal pirhotit dapat dihitung dengan melihat hasil difraktogram sinar-X.

Penentuan ukuran kristal yang sejajar terhadap bidang dapat ditentukan dengan cara mengamati puncak difraksi sinar -X pada sudut tertentu, selanjutnya melalui formula Scherrer, diperoleh

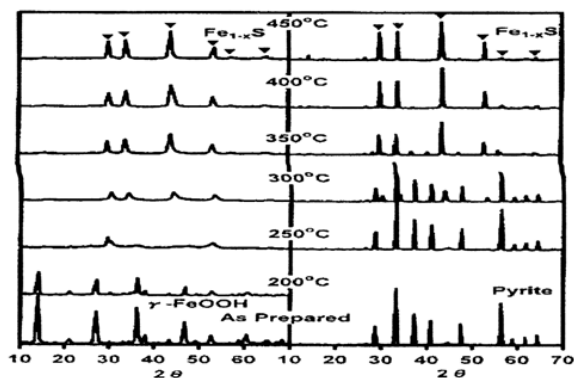
$$d = 0,9 \times \lambda \times 57,3 / \beta_{1/2} \times \cos\theta$$

dimana:

- d = ukuran kristal (nm) pada bidang kristal tertentu
- λ = panjang gelombang sinar -x dari Cu = 1,542 Å
- β<sub>1/2</sub> = setengah dari lebar puncak pada 2θ yang bersangkutan
- θ = sudut difraksi
- 57,3 = faktor konversi derajat ke radian

Ukuran kristal pirhotit yang terbentuk dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu, waktu, dan tekanan. Semakin besar suhu reaksi semakin besar ukuran kristal yang terbentuk hal ini disebabkan karena mineral yang disulfidasi mengalami proses aglomerasi partikel sehingga memungkinkan untuk membentuk ukuran kristal yang besar. Menurut Kaneko et.al., (2000) dengan penambahan suhu, maka ukuran kristal pirhotit juga akan bertambah seperti terlihat dalam Gambar 1.

Tekanan dan waktu juga akan mempengaruhi pembentukan mineral pirhotit yakni makin besar tekanan dan waktu yang diperlukan makin besar juga ukuran kristal pirhotit yang terbentuk.



Gambar 1. Transformasi fasa  $\gamma$ -FeOOH dan FeS<sub>2</sub> menjadi Pirhotit (Fe<sub>1-x</sub>S) selama pemanasan (Kaneko et.al., 2000)

## METODOLOGI

### Sulfidasi bahan katalis

Sulfidasi bahan katalis berbasis besi dilakukan dengan harapan untuk mendapatkan produk berupa kristal pirhotit (Fe<sub>1-x</sub>S) yang merupakan fasa aktif dalam proses pencairan batubara.

Penelitian menggunakan bahan baku katalis berupa goetit sintetis dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Unsur logam nikel dan krom ditambahkan untuk diteliti pengaruhnya dalam pembentukan kristal pirhotit pada proses sulfidasi. Proses sulfidasi dilakukan dalam variasi konsentrasi nikel dan krom serta suhu. Waktu proses dilakukan mendekati nol menit ( $t \rightarrow 0$ ).

vacum, oven dan XRD untuk identifikasi kristal pirhotit. Bahan yang digunakan antara lain goetit sintetis (FeOOH), oksida besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sulfur, pelarut antrasen, tetrahidrofuran (THF), gas hidrogen (H<sub>2</sub>), silika oksida (SiO<sub>2</sub>), logam nikel (Ni) dan oksida krom (CrO<sub>3</sub>).

### Prosedur percobaan

Untuk mengetahui pengaruh logam Ni dan oksida Cr dalam contoh limonit dan katalis sintetis dilakukan uji sulfidasi, dilanjutkan uji difraksi sinar-X.

Timbang sejumlah berat tertentu bahan katalis berbasis besi yang mengandung Fe 0,30 gram, belerang 0,60 gram, pelarut (antrasen) 15,0 gram dan sejumlah berat tertentu serbuk logam Ni, oksida krom CrO<sub>3</sub> sesuai dengan variasi konsentrasi yang ditetapkan yakni Ni (0,50, 1,00, 1,50%) dan oksida krom (2,0, 5,0, 7,0%). Penetapan variasi Ni dan Cr mengacu pada kadar yang dikandung limonit Inalahi. Bahan-bahan tersebut dimasukkan dalam autoclave tipe shaking 500 ml. Pada keadaan suhu kamar (23°C), gas hidrogen dialirkan ke dalam autoclave sampai tekanan 100 bar. Kemudian dipanaskan sampai suhu proses yang telah ditetapkan (300, 350, 400°C). Waktu tinggal pada suhu proses mendekati nol menit ( $t \rightarrow 0$  menit). Produk hasil sulfidasi dikeluarkan pada suhu kamar. Produk padatan dipisahkan dari cairannya dan dibersihkan kemudian dicuci dengan THF. Kristal padat dikeringkan, dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Kristal padat yang telah kering dilakukan uji difraksi sinar-X untuk mengetahui terbentuknya kristal pirhotit. Dari difractogram dapat dilakukan

Table 1. Rancangan percobaan

|        |         | Kadar (gram)     |                  |                  | Suhu reaksi (°C) |     |     |     |
|--------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|-----|
| Goetit | Hematit | Ni               | SiO <sub>2</sub> | CrO <sub>3</sub> | 300              | 350 | 400 |     |
| 1,4072 | 0,8598  | -                | -                | -                | -                | -   | 400 |     |
|        |         | 0,0090 (Ni 0,5%) | -                | -                | -                | -   | 400 |     |
|        |         | 0,0161 (Ni 1,0%) | -                | -                | -                | -   | 400 |     |
|        |         | 0,0230 (1,5%)    | -                | -                | -                | -   | 400 |     |
|        |         | -                | -                | -                | -                | 300 | 350 | 400 |
|        |         | -                | -                | 0,1366 (Cr 7%)   | -                | 300 | 350 | 400 |
|        |         | 0,0090           | 0,0408           | 0,0980 (Cr 5%)   | -                | 300 | 350 | 400 |
|        |         | -                | 0,0980           | 0,0404 (Cr 2%)   | -                | 300 | 350 | 400 |

### Alat dan bahan

Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah autoclave tipe shaking 500 ml, saringan

pengukuran besar ukuran kristal pirhotit yang terbentuk.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

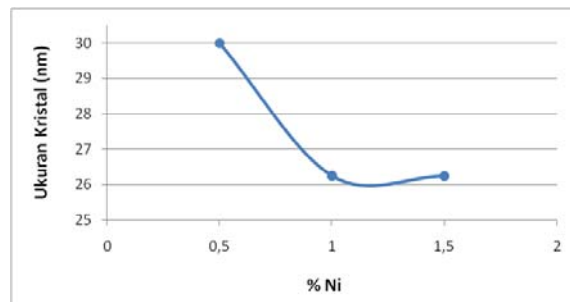
Pembahasan hasil penelitian meliputi pengaruh penambahan nikel (Ni) ke dalam katalis goetit sintetis terhadap ukuran kristal pirhotit dan pengaruh penambahan oksida krom ( $\text{CrO}_3$ ) terhadap ukuran kristal pirhotit.

### Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) ke dalam Katalis Goetit Sintetis Terhadap Ukuran Kristal Pirhotit

Puncak difraksi yang digunakan untuk menentukan ukuran kristal adalah pada bidang  $d_{200}$ . Puncak ini dipilih karena intensitasnya relatif tinggi dan tidak bersekutu dengan puncak senyawa lainnya. Kadar Ni di dalam goetit pada penelitian ini maksimum 1,5%. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) ke dalam katalis Goetite terhadap Ukuran Kristal Pirhotit

| Ni (%) | Ukuran Kristal Pirhotit (nm) |
|--------|------------------------------|
| 0,5    | 30,0057                      |
| 1,0    | 26,2577                      |
| 1,5    | 26,2529                      |



Gambar 2. Pengaruh penambahan Ni terhadap ukuran kristal pirhotit

Dari Tabel 2 dan Gambar 2 dapat dikatakan bahwa penambahan nikel ke dalam katalis goetit sintetis memberikan pengaruh terhadap ukuran kristal pirhotit, pada penambahan nikel sekitar 1,0% terjadi penurunan yang cukup besar, setelah itu pada penambahan nikel 1,5% ukuran kristal pirhotit terlihat tetap tidak ada penurunan. Berdasarkan data hasil percobaan tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan nikel sebanyak 1,0% cukup bagus untuk

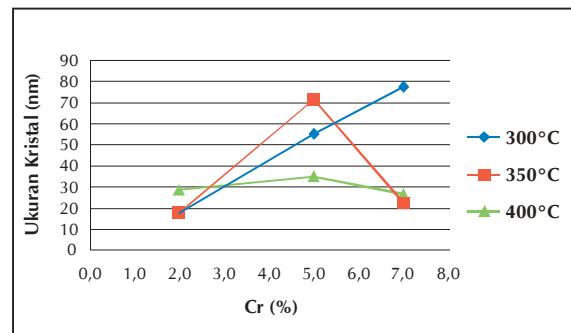
menghasilkan ukuran kristal pirhotit yang kecil yang berarti luas permukaannya besar dalam jumlah berat yang sama. Semakin besar kadar nikel (Ni) di dalam goetit tidak memberikan pengaruh terhadap ukuran kristal pirhotite.

### Pengaruh Penambahan Krom (Cr) Terhadap Ukuran Kristal Pirhotit

Penambahan unsur Cr ke dalam katalis sintetis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  dengan berbagai variasi suhu mengakibatkan perubahan terhadap ukuran kristal pirhotit. Tabel 3 dan Gambar 3 merupakan hasil pengamatan pengaruh penambahan Cr ke dalam katalis sintetis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  terhadap ukuran kristal pirhotit pada suhu 300, 350 dan 400°C.

Tabel 3. Pengaruh Penambahan Cr ke dalam Katalis Sintetis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  terhadap Ukuran Kristal Pirhotit pada suhu 300, 350 dan 400°C.

| Cr (%) | 300°C      | 350°C      | 400°C      |
|--------|------------|------------|------------|
| 2,0    | 17,5165 nm | 17,4968 nm | 28,5522 nm |
| 5,0    | 55,4268 nm | 71,5161 nm | 35,0004 nm |
| 7,0    | 77,5723 nm | 22,1499 nm | 27,1041 nm |



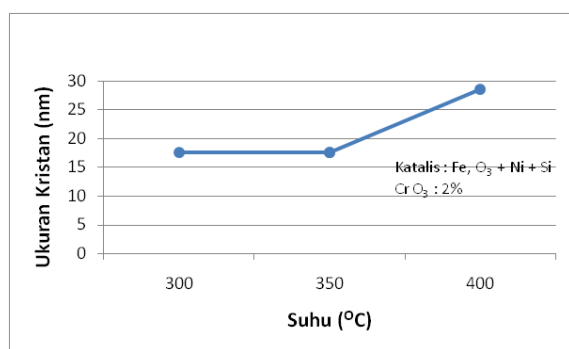
Gambar 3. Pengaruh penambahan Cr terhadap ukuran kristal pirhotit

Pada suhu 300°C, penambahan Cr yang banyak akan menghasilkan ukuran kristal yang besar. Dari Tabel 3 dan Gambar 3 dapat dikatakan bahwa semakin besar penambahan Cr ke dalam katalis sintetis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  akan mengakibatkan ukuran kristal pirhotit yang semakin besar pada suhu operasi 300°C. Hal ini dapat terjadi karena pada suhu tersebut kristal pirhotit yang terbentuk belum sempurna sehingga ukuran kristalnya mengalami kenaikan yang sangat besar.

Pada suhu 350°C penambahan Cr 5% menghasilkan ukuran kristal maksimum sebesar 71,5161 nm, tetapi pada penambahan Cr 7% ukuran kristal pirhotitnya menurun lagi menjadi 22,1499 nm. Hal ini kemungkinan disebabkan pada penambahan Cr 5% pertumbuhan kristal pirhotit sudah maksimal, sehingga ketika ditambahkan lagi Cr 7% tidak terjadi lagi aglomerasi, yang terjadi adalah penolakan atau peredaman pertumbuhan kristal sehingga mengakibatkan ukuran kristal pirhotit akan mengecil.

Pada suhu 400°C penambahan Cr dalam katalis sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  terlihat fluktuatif, terjadi kenaikan ukuran pirhotit yang besar pada penambahan Cr sebanyak 5% kemudian turun kembali setelah penambahan Cr 7%. Dari Tabel 3 dan Gambar 3 dapat dikatakan pada penambahan Cr 2% sudah cukup baik memberikan kristal pirhotit yang kecil yang berarti luas permukaan kristal pirhotit adalah relatif besar.

Penambahan Cr ke dalam katalis sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  dengan suhu yang berbeda dapat memberikan pengaruh dalam ukuran kristal pirhotit, salah satu contoh dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh suhu terhadap peningkatan ukuran kristal pirhotit

Dari Gambar 4 dapat dikatakan bahwa penambahan Cr sebanyak 2% ke dalam katalis sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  pada suhu 300 dan 350°C menghasilkan kristal pirhotit yang kecil. Semakin kecil ukuran kristal pirhotit maka semakin luas permukaan katalis yang dapat bereaksi dengan reaktan dan diharapkan dapat menghasilkan persen konversi hidrogenasi dan produk pencairan batubara yang tinggi. Pada proses pencairan batubara dengan suhu 300°C baru terjadi proses plastisitas dan pada suhu 350°C merupakan suhu awal terjadinya

perengkahan, produk yang dihasilkan adalah preasphalten. Jadi meskipun pada ke dua suhu tersebut pembentukan kristal pirhotit sudah kecil tapi proses pencairan batubara belum dapat menghasilkan minyak sintesis yang diinginkan.

Minyak ringan dan berat dalam proses pencairan batubara baru dapat diproduksi pada suhu 400°C. Pada suhu tersebut ukuran kristal pirhotit yang dihasilkan bertambah menjadi 28,5522 nm. Peningkatan ukuran kristal pirhotit pada suhu 400°C dapat dikatakan masih relatif kecil (< 50,000 nm) sehingga pada suhu ini penambahan Cr 2% ke dalam katalis sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  dapat dilakukan. Berdasarkan data ini disimpulkan bahwa suhu reaksi dalam pencairan batubara lebih baik dilakukan pada suhu 400°C

## KESIMPULAN

- Pengaruh suhu, serta penambahan unsur logam nikel (Ni), krom (Cr) dapat mempengaruhi ukuran kristal pirhotit yang terbentuk.
- Kadar nikel yang dianjurkan ditambahkan ke dalam katalis goetit sintesis untuk pencairan batubara adalah sebesar 1%.
- Penambahan Cr ke dalam katalis sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{Si}$  dengan suhu yang berbeda, berpengaruh terhadap pembentukan ukuran kristal pirhotit, pada suhu 400°C dapat menghasilkan ukuran kristal pirhotit yang baik untuk pencairan batubara.
- Kadar krom (Cr) yang terbaik ditambahkan ke dalam katalis sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{SiO}_2$  untuk pencairan batubara adalah 2%, karena terbentuk kristal pirhotit dengan ukuran kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Derbyshire, F.J., 1988. Catalysts in Coal Liquefaction, IEACR/08, IEA Coal Research.
- Hirano, K. and Kanda, Y., 2001. Study on Industrial Catalyst for Bituminous Coal Liquefaction, *Fuel Processing Technology* 72, pp. 35-45
- Kaneko, T., Tazawa, K., Okuyama, N., Tamura, M. and Shimasaki, K., 2000, Effect Highly Dispered Iron Catalyst On Direct Liquefaction of Coal, *Fuel*, Vol. 79, 263-271, Elsevier.

Kaneko, T., Makino, E., Sugita, S., Okuyama, N. and Tamura, M., 2002, Liquefaction of Banko Coal with Limonite Catalyst, *Indonesian – Japan Coal Liquefaction Seminar*, NEDO-KOBELCO-BPPT, Jakarta, PP B3.1-B3.15.

Yokohama, S., Yoshida, R., Narita, H., Kodaira, K. and Maekawa, Y. 1986, Catalytic Activity of Various Iron Sulphides in Coal Liquefaction, *Fuel*, Vol. 65, pp. 164-170