

ANALISIS KONSUMSI HIDROGEN PADA PENCAIRAN BATUBARA BANKO TENGAH DAN RESIDU KILANG MINYAK BALIKPAPAN

Hartiniati

Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi
BPPT Gedung II Lantai 22 Jl MH Thamrin no 8, Jakarta 10340
E-mail: hartiniati@bppt.go.id

Abstract

A series of liquefaction test to understand the effect of initial hydrogen pressure on the yield structure of Banko coal liquefaction under the presence of catalyst and short residue solvent was studied. Three sets of initial pressure at 5, 9 and 12MPa were tested under liquefaction condition. The test was carried out in Coal Liquefaction Laboratory-BPPT, using 1 liter autoclave at temperature of 450°C for one hour. The results showed that by increasing the initial H₂ pressure from 5MPa to 9 and 12MPa would improve the distillate yield for about 8-9wt%dafc. This was due to the availability of hydrogen gas provided at 5MPa was smaller than 9MPa and 12MPa, so that the molecular hydrogen transformed into proton hydrogen and involved in stabilizing decomposed coal structure and short residue became larger. It was found that the changes of H₂O, CO+CO₂ and of C₁-C₄ yields were independent to the variable of initial hydrogen pressure. These results possibly confirm that H₂O and CO+CO₂ yield depend on the raw coal quality input. It was also found that at higher initial pressure (≥9MPa), the hydrogen consumption was become less. This may confirm that hydrogen donor availability of short residue at higher pressure plays a good role in the reaction so that less amount of hydrogen from the gas is required for the liquefaction reaction.

Kata kunci: hydrogen-donor, catalyst, liquefaction yield

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak tahun 1995 Indonesia terus menerus melakukan pengembangan efisiensi proses pencairan batubara dengan tujuan untuk menekan biaya konstruksi pabrik. Percobaan dilakukan guna pengembangan proses menggunakan bahan pelarut alternatif, yang memiliki kemampuan sebagai pendonor hidrogen yang lebih baik, bila dibandingkan dengan pelarut organik seperti *creosote oil* dilakukan dengan maksud mengurangi penggunaan gas hidrogen (Yamada, 1976).

Pada kenyataannya, sekitar 40% dari total biaya konstruksi pabrik pencairan batubara yang memiliki kapasitas 30.000 ton/hari digunakan untuk menghasilkan gas hidrogen (Artanto et. al., 2006). Selain itu, reaktif pelarut juga berperan untuk meningkatkan *yield* distilat dan menurunkan *yield* BTM (*bottom* atau *residu*).

Jika dilihat dari sisi ketersediaan bahan baku sampai saat ini masih cukup banyak ditemukan residu minyak berat (*short residue*) yang merupakan produk sampingan distilasi vakum di berbagai kilang minyak Pertamina terutama kilang UP III Plaju, UP V Balikpapan dan kilang minyak di Cilacap. Selama ini, kendala yang ditemui oleh Pertamina dengan produk tersebut adalah nilai jual residu minyak berat (*short residue*) yang sangat rendah. Padahal suplai *residu minyak berat* (*short residue*) sebaliknya dapat membantu proses *start-up* di pabrik pencairan batubara, dimana ketersediaan pelarut yang cukup dan efektif menjadi sangat penting.

1.2. Permasalahan

Hingga saat ini, tekanan awal gas hidrogen belum memberikan pengaruh yang cukup berarti terhadap distribusi *yield* produk untuk batubara Banko Tengah. Oleh karenanya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kondisi optimum proses sehingga tekanan awal yang signifikan

pengaruhnya terhadap hasil pencairan dapat diketahui dan dapat diterapkan kemudian pada tingkat komersial.

1.3. Tujuan Riset

Dalam studi ini, dilakukan analisa pengaruh tekanan awal pada reaksi hidrogenasi antara batubara Banko Tengah dan residu minyak berat (*short residue*) untuk melihat sejauh mana efek sinergi keduanya dapat meningkatkan keandalan proses pencairan dilihat dari tingkat *yield* produk yang dapat dicapai.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Batubara dan minyak berat vakum

Dalam studi ini digunakan batubara lignit yang berasal dari daerah Banko Tengah, Muara Enim, Sumatera Selatan. Sedangkan minyak berat vakum diperoleh dari Pertamina UP V Balikpapan, Kalimantan Timur.

Pada sampel batubara tersebut dilakukan penggerusan dengan menggunakan ball mill hingga lolos ukuran 200 mesh (75µm). Setelah dilakukan penggerusan, batubara dimasukkan ke dalam botol untuk ditempatkan dalam desikator untuk mencegah oksidasi dan hubungan langsung dengan udara.

Selanjutnya dilakukan analisa proksimat dan ultimat terhadap sampel batubara sebanyak 50 gram. Batubara yang dianalisa tidak perlu dikeringkan. Eksperimen dimulai dengan pengukuran kadar air yang terkandung dalam batubara tersebut. Sedangkan batubara sisa penggerusan disimpan dalam drum yang berisi gas nitrogen.

Pelarut *residu minyak berat (short residue)* yang diperoleh dari Pertamina UPV tidak memerlukan perlakuan khusus sehingga masih tersimpan di dalam drum. Rentang titik didih pelarut *residu minyak berat (short residue)* adalah sebesar >+520°C dengan *pour point* sekitar 58°C. Penggerusan tidak dilakukan terhadap pelarut *residu minyak berat (short residue)* karena sifatnya yang sangat lengket dan padat (*very viscous*), sehingga hanya perlu dilakukan penghancuran hingga ukuran yang sangat halus. Pelarut yang tersisa dikembalikan untuk disimpan di dalam drum.

Tabel 1. Analisa proksimat batubara (BT) dan residu minyak berat (*short residue*)

	% bkta					Abu %bk
	C	H	N	S	O	
BT	72,9	5,3	1,2	0,7	19,9	2,3
RESIDU MINYAK BERAT	86,4	13,3	<0,01	0,1	0,2	0,01

%bkta : % berat kering tanpa abu

Residu minyak berat (*short residue*) harus melalui proses distilasi terlebih dahulu sebelum digunakan dalam reaksi pencairan agar diketahui komposisi fraksi distilat didalamnya. Pada studi ini, metode distilasi yang digunakan adalah ASTM-D1160.

Tabel 2. Komposisi fraksi hasil distilasi residu minyak berat (*short residue*) (% berat)

Fraksi distilasi	H ₂ O	LO	MO	HO	BTM*
Komposisi	0,00	0,5	0,5	5,9	93,0

* BTM = Bottom (produk residu)

2.2. Umpan Gas

Gas yang digunakan dalam proses rekasi pencairan adalah gas hidrogen dan gas nitrogen. Gas yang berfungsi sebagai reaktan dalam reaksi adalah gas hidrogen. Sedangkan gas nitrogen digunakan sebagai pembersih ruangan udara di dalam autoclave dan untuk mengurangi konsentrasi oksigen yang terkandung dalam udara. Selain itu gas ini diperlukan untuk tidak terjadi ledakan di dalam autoclave jika kontak dengan gas hidrogen.

Tekanan gas dalam proses pengaliran di dalam tangki dijaga stabil pada 150 Mpa dalam hal ini kompresor gas hidrogen membantu proses suplai gas dengan mengalirkan gas dari tabung silinder ke tangki gas. Untuk mengontrol aliran gas alat dilengkapi dengan katup (*valve*).

2.3. Katalis

Dalam studi ini, digunakan katalis limonit yang berasal dari daerah Soroako, Sulawesi Selatan. Katalis tersebut disiapkan dalam bentuk pasta (*slurry*), dimana pelarutnya memakai pelarut *heavy oil solvent* (td. 300-420°C) yang diperoleh dari unit pencairan batubara skala BSU (*Bench Scale Unit*) yang terdapat di TCLC (*Takasago Coal Liquefaction Centre*), Jepang. Besarnya rasio pelarut dengan katalis adalah 70:30. Setelah *slurry* terbentuk, dilakukan penggilingan katalis yang dicampur dengan pelarut didalam tower mill selama 4 jam dengan perputaran 1000 rpm untuk membantu proses dispersi bijih katalis kedalam pelarut. Katalis yang dihasilkan bisa mencapai ukuran 0,5µm.

Konsentrasi Fe dalam padatan diukur dengan menganalisa dengan fasilitas AAS (*Atomic Adsorption Spectroscopy*). Pada Tabel 3 ditunjukkan komponen-komponen logam yang terkandung di dalam katalis.

Tabel 3. Hasil analisa komposisi logam di dalam katalis limonit Soroako*

Kode Katalis	Komposisi (% berat kering)				
	Fe	Si	Al	Ni	Co
SH	48,3	1,1	3,8	1,3	0,1

Pada tahap penyiapan media pelarut diperhitungkan konsentrasi katalis padat dalam pelarut adalah 25,58%.

Tabel 4. Fraksi distilat dari pelarut *heavy oil*

Fraksi distilasi (% berat)				
H ₂ O	LO	MO	HO	BTM
0,0	1,1	28,7	70,3	0,0

Kesimpulan yang dapat diambil dari Gambar 5 adalah bahwa pelarut *heavy oil* tidak banyak berperan sebagai pendonor hidrogen bila dibandingkan dengan pelarut residu minyak berat (*short residue*) (dapat dilihat pada Gambar 1). Oleh sebab itu, residu minyak berat (*short residue*) memiliki pengaruh dominan terhadap *yield* minyak atau distilat.

Tabel 5. Analisa ultimat dari pelarut *heavy oil*

Analisa ultimat (% bkta)				
C	H	S	N	Odif.
88,4	8,5	1,0	0,1	2,0

Terjadi degradasi (sangat kecil) pada pelarut *heavy oil* yang digunakan sebagai campuran dengan katalis dalam pembentukan fraksi produk minyak atau distilat.

2.4. Eksperimen reaksi pencairan

Sebelum dimasukkan kedalam *autoclave*, sampel batubara dari dalam desikator ditimbang dengan ukuran 80 gram. Setelah itu, pelarut residu minyak berat (*short residue*) dengan berat dua kali berat batubara (rasio residu minyak berat terhadap batubara Banko Tengah adalah 2:1 dengan basis bkta) keseluruhan material ditempatkan ke dalam *autoclave*. Selanjutnya, ke dalam *autoclave* dimasukkan pula campuran katalis larutan limonit (1% dari berat batubara Banko Tengah - bkta dengan basis Fe) dan kandungan sulfur (rasio atom terhadap sulfur Fe 3:1).

Kemudian *autoclave* ditutup dan dilakukan pendeteksian terhadap kebocoran gas dimana reaksi berlangsung pada suhu dan tekanan

tinggi. Karena itu, sebaiknya konsentrasi oksigen didalam *autoclave* dikurangi dengan mengeluarkan gas nitrogen pada tekanan 25 Mpa selama kurang lebih 4 jam. Apabila tidak terjadi kebocoran, tekanan diturunkan hingga tekanan awal yang telah ditetapkan. Pada studi ini, tekanan awal yang pernah dicoba sebesar 5, 9 dan 12 MPa.

Selanjutnya barulah pemanas *autoclave* mulai dijalankan. Dalam studi ini, digunakan suhu reaksi sebesar 450°C (Yusnitati, 2003). Sedangkan kecepatan yang digunakan dalam proses pemanasan *autoclave* 1 liter dengan kecepatan kenaikan temperatur dari suhu kamar ke suhu 450°C adalah 123°/jam. Waktu reaksi mulai dihitung setelah suhu mencapai 450°C untuk selama 1 jam masa *retention time*.

Setelah reaksi selesai, pengaduk dibiarkan tetap berputar dan udara dialirkan melalui *blower* menuju pemanas *autoclave* dan pemanas *autoclave* dimatikan secara bersamaan. *Autoclave* didinginkan dengan kecepatan 150°/jam. Pengaduk dan *blower* udara baru dapat dimatikan setelah cairan mencapai suhu 100°C dan produk baru bisa diambil ketika suhu cairan mencapai 50°C.

2.5. Analisa produk (gas dan cair)

Apabila telah tercapai suhu 50°C, barulah gas dapat diambil. Pertama-tama, pengaduk dijalankan agar konsentrasi gas yang ada didalam *autoclave* menjadi homogen.

Gas yang dikeluarkan dari *autoclave* dialirkan melewati meter gas (alat yang digunakan untuk mengukur gas produk di dalam *autoclave*). Gas diambil melalui tiga tekanan berbeda yang kemudian dihitung konsentrasi gas rata-rata dari ketiga tekanan yang berbeda tersebut.

Selanjutnya dilakukan analisa konsentrasi gas dengan menggunakan gas kromatografi. Alat yang digunakan untuk mendeteksi masing-masing konsentrasi gas berbeda satu sama lain, untuk mendeteksi konsentrasi gas hidrokarbon (C₁-C₄) digunakan GC-FID (*gas chromatography-Flame Ionized Detector*), konsentrasi gas CO, CO₂, H₂, dan CH₄ dideteksi menggunakan GC-TCD (*Gas Chromatography-Thermal Conductivity Detector*). Sedangkan untuk mengukur konsentrasi gas H₂S digunakan alat *dragger* yaitu peralatan analisa berupa tabung kecil yang mengandung zeolit yang digunakan untuk menyerap H₂S).

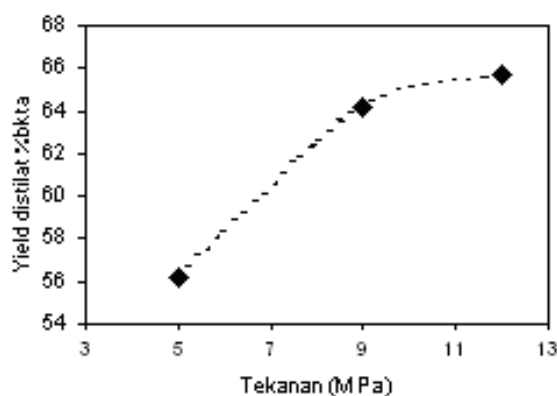
Setelah dilakukan pengambilan sampel gas, selanjutnya cairan produk diambil dari *autoclave* yang nantinya fraksi-fraksinya akan dipisahkan menggunakan alat distilasi vakum 10 mmHg. Metode distilasi yang digunakan adalah metode ASTM-D1160.

Produk distilasi dibedakan dalam tiga bagian titik didih. Minyak ringan (*light oil*, LO) memiliki titik didih dengan rentang dari suhu kamar sampai 180°C. Fraksi titik didih 180-420°C disebut minyak *recycle* (*recycle solvent*, RS) dan fraksi titik didih >420°C disebut residu (*coal liquid bottom*, CLB).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengaruh Tekanan Awal Hidrogen Terhadap Yield Minyak atau Distilat

Tekanan awal gas hidrogen di dalam reaksi pencairan batubara dan reaksi antara batubara dengan residu minyak berat (*short residue*) berpengaruh terhadap jumlah molekul gas yang akan digunakan untuk reaksi perengkahan batubara dan residu minyak berat (*short residue*). Pada Gambar 1 ditunjukkan tekanan gas awal yang mempengaruhi distribusi *yield* distilat.



Gambar 1. Pengaruh tekanan terhadap *yield* distilat.

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa terjadi peningkatan *yield* distilat ketika ditambahkan tekanan awal dari 5 MPa menjadi 9 MPa, hal tersebut sangat berbeda bila dibandingkan dengan *yield* distilat yang dihasilkan dari perubahan tekanan dari 9 MPa menjadi 12 MPa, yang mana terjadi kenaikan *yield* distilat yang sangat kecil. Percobaan ini hasilnya sama dengan percobaan yang dilakukan untuk reaksi pencairan batubara Yallourn, Australia, yang dilakukan dengan menggunakan katalis tin.

Dalam studi ini, kebutuhan molekul atau atom hidrogen untuk reaksi disuplai dari gas hidrogen (fase gas) dan donor hidrogen dari residu minyak berat (*short residue*). Jadi, degradasi struktur batubara tidak cukup jika hanya dipengaruhi oleh tekanan 5 MPa, sehingga terjadi penurunan produksi fragmen-fragmen batubara dan berpengaruh pula terhadap kuantitas degradasi terhadap struktur residu minyak berat (*short residue*).

Pada tekanan 9 MPa terjadi peningkatan produksi distilat. Hal ini menunjukkan bahwa mulai terjadi aktifitas donor hidrogen dan perubahan molekul gas hidrogen dari fase gas hidrogen. Jadi, efek sinergis mulai terlihat jika reaksi sudah berlangsung pada tekanan 9 MPa.

Terjadi peningkatan *yield* distilat yang ketika tekanan awal gas hidrogen dinaikkan ke 12 MPa yaitu sekitar 2% bkt. Hal tersebut menunjukkan bahwa gas hidrogen tidak terlalu berpengaruh terhadap perengkahan struktur batubara dan residu minyak berat (*short residue*). Kesimpulannya, pengaruh pelarut residu minyak berat (*short residue*) lebih besar dalam peningkatan *yield* distilat dan untuk menjaga agar tidak terjadi reaksi re-polimerisasi (kondensasi) atau meminimalkan reaksi re-polimerisasi (kondensasi).

3.2. Pengaruh Tekanan Awal Hidrogen Terhadap Yield Residu (BTM)

Pada Tabel 6 ditunjukkan fungsi *yield* BTM sebagai tekanan awal gas hidrogen. Berdasarkan Tabel tersebut diketahui bahwa tekanan awal gas hidrogen yang digunakan mempengaruhi besarnya *yield* BTM seperti halnya pada distilat. Semakin tinggi tekanan awal gas hidrogen, semakin kecil *yield* BTM yang dihasilkan. Besarnya penurunan *yield* BTM dari tekanan awal 5 MPa ke 9 MPa adalah sekitar 11,7% bkt. Namun, *yield* akan meningkat sebesar 0,9% bkt apabila tekanan dinaikkan menjadi 12 MPa. Kenaikan yang tidak signifikan ini menunjukkan bahwa kenaikan *yield* BTM dengan tekanan awal 9 MPa hampir sama dengan tekanan 12 MPa.

Tabel 6. Distribusi *yield* BTM (% bkt)

	Tekanan Awal H ₂ (MPa)		
	5	9	12
Total <i>yield</i>	32,7	21,0	21,9

Peningkatan kemampuan hidrogen dalam perengkahan struktur batubara (ukuran besar dan kecil) terjadi apabila banyak tersedia molekul gas hidrogen di dalam reaksi. Bentuk molekul BTM yang dihasilkan merupakan gabungan dari struktur molekul besar yang terdiri dari abu, inorganik dan organik yang dapat diuraikan lagi menjadi produk dengan titik didih dan berat molekul yang lebih ringan. Produk dengan berat molekul ringan seperti *light oil*, *middle oil* dan *heavy oil* digolongkan sebagai distilat. Jadi, struktur yang besar dapat ditembus apabila konsentrasi hidrogen mencukupi sehingga reaksi polimerisasi dapat dicegah.

3.3. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* Gas Hidrokarbon (C₁-C₄) dan Gas CO+CO₂

Dalam reaksi pencairan batubara, gas hidrokarbon (C₁-C₄) terbentuk melalui mekanisme de-alkilasi. Kemudian, pada suhu diatas 400°C proses al kilasi mulai berlangsung (Yusnitati, 2003). Sedangkan CO+CO₂ tidak terlalu dipengaruhi oleh suhu, tetapi lebih banyak dipengaruhi oleh jenis batubaranya (Artanto, 2000, Yusnitati, 2003).

Pada Tabel 7 ditunjukkan *yield* CO+CO₂ dan C₁-C₄ yang dipengaruhi oleh tekanan awal gas hidrogen. Berdasarkan hasil percobaan tersebut dinyatakan bahwa tekanan awal gas tidak mempengaruhi *yield* CO+CO₂. Perbedaan *yield* pada tekanan antara 12 MPa dengan 9 MPa atau 5 MPa hanya sekitar 0,6% bkta. Dari perbedaan tersebut dapat dipastikan bahwa penambahan jumlah molekular gas hidrogen tidak mempengaruhi *yield*. Pada *yield* C₁-C₄ terjadi penurunan yang tidak signifikan (dengan perbedaan sekitar 0,4%-1,1% bkta).

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa tekanan gas awal hidrogen memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap *yield* CO+CO₂ dan C₁-C₄ bila dibandingkan dengan pengaruh suhu didalamnya (Yusnitati, 2003).

Seperti yang telah diketahui bahwa didalam batubara muda terdapat jaringan ikatan-ikatan senyawa alifatik (rantai panjang) dan aromatik. Senyawa rantai panjang itulah yang berkontribusi dalam pembentukan gas hidrokarbon. Posisi senyawa rantai panjang bisa terikat dengan senyawa aromatik atau berdiri sendiri yang tersambung satu sama lain. Sedangkan residu minyak berat (*short residue*) memiliki struktur molekul yang lebih besar dan siklis.

Tabel 7. *Yield* CO+CO₂ dan C₁-C₄ (% bkta)

	Tekanan Awal H ₂ (MPa)		
	5	9	12
CO + CO ₂	4,3	4,3	3,6
C ₁ -C ₄	7,2	6,8	5,7

Molekul gas hidrogen yang besar tidak berperan penting dalam mengadakan reaksi de-alkilasi. Gangguan pada struktur alkil lebih disebabkan oleh adanya pengaruh suhu daripada tekanan.

3.4. Pengaruh Suhu Terhadap *Yield* H₂O dan Konsumsi Gas Hidrogen

Hingga saat ini, bahwa dalam proses pembentukan air selama berlangsungnya reaksi pencairan batubara dengan residu minyak berat (*short residue*) ditemukan bahwa kandungan air

dalam batubara dan interaksi antara atom hidrogen dengan gugus -OH terpisah dari senyawa fenolik.

Tabel 8. Konsumsi gas hidrogen dan *yield* H₂ (% bkta)

	Tekanan Awal H ₂ (MPa)		
	5	9	12
H ₂ O	4,6	5,1	4,5
ΔH ₂	4,9	1,4	1,2

Pada Tabel 8 menunjukkan bahwa penambahan tekanan awal hidrogen tidak mempengaruhi *yield* H₂O. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya peran gugus -OH yang terdegradasi dari gugus fenolik karena pengaruh tingginya suhu yang menyebabkan terbentuknya air, bukan gas CO. Namun demikian, dalam studi ini tidak dilakukan pembuktian terhadap mekanisme tersebut.

Seperti ditunjukkan pada Tabel 8 diatas, terjadi penurunan terhadap konsumsi gas hidrogen pada pencairan batubara Banko Tengah dengan residu minyak berat (*short residue*), dimana penurunan tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh tekanan awal gas hidrogen. Adanya penurunan konsumsi tersebut menunjukkan bahwa peranan atom hidrogen selama reaksi pencairan lebih banyak didominasi oleh pelarut residu minyak berat (*short residue*) daripada atom hidrogen dari fase gas. Jadi, selain berperan untuk memecah struktur batubara (dan dirinya sendiri), donor hidrogen dari pelarut *residu minyak berat (short residue)* juga berperan untuk mencegah terjadinya reaksi re-polimerisasi. Dengan demikian, dapat dijelaskan penyebab kereaktifan *yield* distilat pada tekanan awal 12 Mpa yang lebih besar dibandingkan pada tekanan awal 9 Mpa.

Hasil diatas juga menunjukkan besarnya peran residu minyak berat (*short residue*) dalam pencairan batubara dalam meningkatkan *yield* distilat dan menurunkan *yield* BTM (residu minyak batubara) dengan menekan penggunaan gas hidrogen selama reaksi.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi yang telah dilakukan adalah sebagai dijelaskan berikut.

Tekanan gas awal yang mempengaruhi *yield* distilat dan *yield* BTM merupakan tekanan gas yang berbeda. Semakin besar tekanan awal gas hidrogen maka *yield* distilat yang diperoleh akan meningkat, sedangkan pada *yield* BTM akan terjadi penurunan. Meningkat dan menurunnya *yield* tersebut secara signifikan terjadi pada

kenaikan awal hidrogen dari 5 MPa ke 9 MPa. Sedangkan tekanan awal gas hidrogen dari 9 ke 12 MPa tidak memberikan perubahan yang berarti namun tidak begitu besar.

Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa peranan suplai molekul atau atom gas selama berlangsungnya reaksi sangat berguna untuk memecah struktur batubara dan residu minyak berat (*short residue*). Perengkahan struktur residu minyak berat (*short residue*) tersebut juga dipengaruhi oleh temperatur yang tinggi (450°C). Disamping itu, pencegahan terjadinya reaksi polimerisasi juga dibantu oleh peran donor hidrogen dari pelarut residu minyak berat (*short residue*), sehingga tercapai *yield* yang cukup tinggi.

Adanya penambahan tekanan awal gas hidrogen ternyata tidak mempengaruhi *yield* CO+CO₂, gas hidrokarbon (C₁~C₄) dan H₂O. Berdasarkan hasil studi tersebut, dapat dinyatakan bahwa karakteristik batubara dan pelarut lebih banyak mempengaruhi keseluruhan *yield* produk.

Selain itu, perubahan tekanan awal gas hidrogen juga berpengaruh terhadap penurunan konsumsi gas hidrogen. Semakin tinggi tekanan awal gas hidrogen, maka semakin rendah konsumsi gas yang dibutuhkan. Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh dominan donor hidrogen dari pelarut residu minyak berat (*short residue*) pada tekanan tinggi, selain itu juga menunjukkan adanya kerja yang sinergis antara batubara dan pelarut residu minyak berat (*short residue*).

DAFTAR PUSTAKA

- Artanto, Y., et. al., 2006. *Conversion of Indonesian Banko Coal into Oil: The Influence of Temperature on the Hydrogenation of Banko Coal*. Intern Technical Report, June 15, 2006. Agency for the Assessment and Application of Technology.
- Artanto, Y., Jackson, W.R., Redlich, P.J. and Marshall, M., 2000. *Liquefaction of Some Indonesian Low-rank Coals*. Fuel, vol.79, hal 1333-1340
- Artanto, Y., Saleh, M., 2000. Studi Reaktifitas Minyak Vakum Residu Sebagai Pelarut Pada Proses Pencairan Batubara Banko Selatan Menjadi Minyak Mentah", Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2000, ISSN: 1411-4216, 26-27 Juli 2000, F-3.
- Yamada, Y., Honda, H. and Kakiyama, H. 1976. *Liquefaction of Coal with Petroleum System Heavy Oil Solvent*. Japanese Patent 53502, 197
- Yusnitati, 2003. Pengaruh Temperatur Pada Proses Pencairan Batubara Banko Tengah dan *Short Residu*. diterima dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 2003, UI-Depok.