

## **PELUANG PEMANFAATAN BIOMASSA JANGGEL JAGUNG SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUKSI SOLAR DAN PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

Fitria Yulistiani<sup>1</sup>, Conny K. Wachjoe<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

Email: [tria\\_fl@yahoo.com](mailto:tria_fl@yahoo.com); [ck\\_wachjoe@polban.ac.id](mailto:ck_wachjoe@polban.ac.id)

### ***Abstrak***

*Salah satu rute pemanfaatan biomassa yang sangat menjanjikan adalah gabungan teknologi gasifikasi dan sintesis Fischer Tropsch. Konversi energi ini dapat diarahkan untuk memproduksi hidrokarbon rantai panjang yang mirip solar atau minyak bakar untuk motor diesel. Suatu studi kasus untuk mengkaji potensi pemanfaatan teknologi gasifikasi dan Fischer-Tropsch telah disusun dengan mengambil janggel jagung sebagai bahan baku. Potensi limbah biomassa janggel jagung di Indonesia adalah sekitar 4 juta ton per tahun<sup>[1]</sup>. Dengan menggunakan 300.000 ton janggel jagung, teknologi gasifikasi dan Fischer Tropsch diprediksi dapat menghasilkan FT Fuel (sejenis solar) 55-58 juta liter/tahun, dan hasil samping listrik sebesar 200-400 GWh/tahun sebagai pemanfaatan offgas proses Fischer Tropsch.*

*Kata Kunci : janggel jagung, gasifikasi, Fischer Tropsch*

## PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk, kemajuan teknologi, dan peningkatan perekonomian menyebabkan peningkatan konsumsi energi di Indonesia. Namun peningkatan kebutuhan energi tersebut tidak diiringi dengan kestabilan harga dan pasokan energi yang mencukupi, sehingga memunculkan permasalahan keamanan ketersediaan energi. Selain itu, penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara juga memunculkan isu lingkungan terkait dengan emisi CO<sub>2</sub> dan pemanasan global. Kepedulian pemerintah Indonesia terhadap permasalahan-permasalahan di atas mendorong dikeluarkannya kebijakan pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dan peningkatan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) yang dituangkan dalam bentuk sasaran bauran energi primer nasional. Biomassa bersama-sama dengan nuklir, air, surya, dan angin ditargetkan dapat mencapai 5% dari total sumber energi primer pada tahun 2025<sup>[2]</sup>.

Salah satu jenis biomassa yang diproduksi di Indonesia adalah janggel jagung. Berdasarkan data Departemen Pertanian, pada tahun 2008 produksi jagung Indonesia mencapai 16 juta ton di area perkebunan seluas 4 juta hektar. Dari produksi jagung tersebut dihasilkan janggel jagung sebanyak 1 ton/hektar atau sekitar 4 juta ton. Salah satu rute konversi biomassa yang cukup menjanjikan adalah kombinasi antara gasifikasi biomassa dan sintesis *Fischer Tropsch* (GBFT). Biomassa digasifikasi kemudian produk gas yang telah dibersihkan digunakan dalam sintesis *Fischer Tropsch* (FT) untuk menghasilkan hidrokarbon rantai panjang yang kemudian dikonversikan menjadi diesel ramah lingkungan. Hasil samping dari sistem GBFT adalah listrik yang dibangkitkan dengan proses *combined cycle* menggunakan bahan baku gas buang. Penjualan listrik dapat meningkatkan pendapatan pabrik GBFT.

Biomassa di Indonesia berasal dari limbah hutan, limbah kota, dan limbah pertanian. Karakteristik yang membedakan berbagai jenis biomassa dinyatakan dalam bentuk analisis proksimat dan elemental. Selain analisis proksimat dan elemental, kandungan energi dalam biomassa merupakan

karakteristik yang penting dalam penentuan umpan gasifikasi. Kandungan energi dapat dinyatakan sebagai *Higher Heating Values* (HHV), mencakup panas kondensasi air yang terbentuk pada pembakaran biomassa. Semakin tinggi nilai HHV, biomassa tersebut akan lebih disukai sebagai umpan gasifikasi. Apabila tidak diperoleh informasi mengenai kandungan energi biomassa, nilai HHV dapat dihitung menggunakan korelasi yang diberikan oleh Channiwala dan Parikh (2002)<sup>[3]</sup>. Korelasi tersebut memberikan hubungan antara HHV dengan komposisi atom-atom C, H, O, N, S, dan Ash yang terdapat dalam hasil analisis ultimat biomassa. Korelasi tersebut dinyatakan dalam Persamaan (1). Hasil perhitungan HHV memiliki satuan MJ/kg.

$$HHV = 0,3491 C + 1,1783 H + 0,1005 S - 0,1034 O - 0,0151 N - 0,0211 A \dots (1)$$

Parameter lain yang dapat digunakan sebagai perbandingan adalah kandungan air dalam biomassa. Biomassa dengan kandungan air di bawah 15% lebih disukai karena pengoperasian *gasifier* menjadi lebih ekonomis. Kandungan air yang terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi termal *gasifier* dan menghasilkan gas yang memiliki nilai kalor rendah.

Jenis biomassa yang ketersediaannya cukup melimpah dan pemanfaatannya belum terlalu banyak di Indonesia adalah janggel jagung. Kandungan energi janggel jagung yang dihitung menggunakan persamaan (1) adalah 16,97 MJ/kg. Selain itu, janggel jagung juga memiliki kandungan air yang rendah (7%).

## METODOLOGI

Pengolahan biomassa secara kimiawi umumnya dilakukan melalui proses gasifikasi. Sebelum memasuki proses gasifikasi, biomassa harus melalui proses perlakuan awal (*pre treatment*) seperti pengeringan dan pencacahan. Semakin kering umpan biomassa, efisiensi gasifikasi akan meningkat tetapi kandungan hidrogen dalam produk gas sintesis akan berkurang. Hal tersebut menyebabkan produk gas sintesis menjadi kurang menarik untuk digunakan dalam sintesis FT serta meningkatkan biaya produksi akibat proses

pengeringan biomassa. Menurut Faaij dkk. (1998)<sup>[4]</sup>, kadar air optimum untuk aplikasi gasifikasi biomassa yang akan dilanjutkan dengan siklus kombinasi berkisar antara 10-15%. Analisis proksimat dan ultimat untuk jaggel jagung telah dilakukan oleh beberapa peneliti di dunia. Analisis yang digunakan dalam perhitungan adalah analisis yang diperoleh dari Rajabhat Phranakhon University, Thailand<sup>[5]</sup>. Kandungan air jaggel jagung sudah berada di bawah 15% (berkisar antara 4-9%) sehingga tidak diperlukan lagi proses pengolahan awal berupa pengeringan.

Gasifikasi biomassa merupakan reaksi konversi termal endotermik yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang mudah terbakar. Oksigen, udara, kukus, atau kombinasi dari senyawa-senyawa tersebut dalam jumlah terbatas dapat berperan sebagai agen oksidasi. Produk gas terdiri atas karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), sedikit hidrokarbon berantai lebih tinggi (etena, etana), air, nitrogen (apabila menggunakan udara sebagai oksidan), dan berbagai kontaminan seperti partikel arang, debu, tar, hidrokarbon rantai tinggi, alkali, amoniak, asam, dan senyawa-senyawa sejenisnya.

Salah satu reaksi yang berjalan di dalam reaktor gasifikasi adalah reaksi oksidasi komponen C dan H dalam biomassa menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Suplai oksigen sebagai media oksidasi dapat berupa udara, oksigen murni, ataupun udara yang kaya oksigen. Kekurangan dari proses gasifikasi menggunakan udara adalah dominasi nitrogen dalam produk gas yang menyebabkan pembengkakan ukuran peralatan pemroses gas sintesis.

Hamelinck dkk. (2003)<sup>[6]</sup> menyatakan bahwa gasifikasi dengan oksigen sebagai media oksidasi lebih menguntungkan dari segi ukuran alat di sektor hilir, energi kompresi, dan tekanan parsial komponen FT yang lebih tinggi. Oksigen murni sangat mahal. Oleh karena itu dilakukan berbagai upaya untuk mendapatkan udara yang kaya akan oksigen (bukan oksigen murni). Penggunaan udara kaya oksigen memberikan kombinasi keuntungan pengurangan ukuran peralatan dan media yang tidak terlalu mahal. Perangkat pemisahan udara untuk produksi udara yang kaya akan oksigen dengan

kapasitas 576 ton O<sub>2</sub>/hari memakan biaya sekitar 41,8 juta USD. Pernyataan-pernyataan tersebut akan dibuktikan melalui perhitungan neraca massa dan energi sistem gasifikasi.

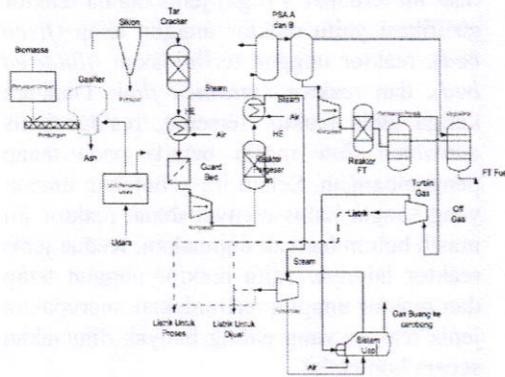
Saat ini terdapat 3 (tiga) jenis utama reaktor gasifikasi yaitu reaktor unggun tetap (*fixed bed*), reaktor unggun terfluidakan (*fluidized bed*), dan reaktor *entrained flow*. Diantara ketiga jenis reaktor tersebut, reaktor jenis *entrained flow* masih berada pada tahap pengembangan. Selain itu kebutuhan umpan yang sangat halus menyebabkan reaktor ini masih belum banyak digunakan. Kedua jenis reaktor lainnya, yaitu reaktor unggun tetap dan reaktor unggun terfluidakan, merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan secara komersial.

Proses gasifikasi tekanan tinggi memiliki beberapa keuntungan secara ekonomi: ukuran reaktor gasifikasi yang dibutuhkan lebih kecil sehingga kapasitas reaktor dapat ditingkatkan semaksimal mungkin, tidak dibutuhkan kompresi tambahan (karena proses sintesis FT selanjutnya bertekanan tinggi), temperatur dapat dijaga tetap tinggi apabila proses selanjutnya membutuhkan umpan bertemperatur tinggi. Akan tetapi pada tekanan di atas 25-30 bar, *gasifier* harus dibangun menggunakan bahan yang lebih tahan tekanan dan proses pengumpanan menjadi mahal. Proses gasifikasi menggunakan udara kaya oksigen dan oksigen murni dilengkapi dengan unit pemurnian udara. Proses gasifikasi intermediet dan bertekanan dilengkapi dengan kompresor oksigen yang memperoleh suplai energi dari turbin gas/turbin uap. Dalam perhitungan, laju udara diatur sedemikian rupa hingga konversi karbon dapat mencapai 95%.

Terkait dengan tujuan produksi tar yang rendah dan konversi yang tinggi, jenis reaktor gasifikasi yang dikaji adalah reaktor unggun terfluidakan (*circulated fluidized bed/CFB*). Sedangkan untuk jenis media gasifikasi dan kondisi operasi *gasifier*, dikaji berbagai kombinasi yang mendukung perolehan produk Fischer Tropsch semaksimal mungkin dengan biaya yang ekonomis (Gambar 1).

Untuk menyederhanakan perhitungan neraca massa dan energi, produk gasifikasi

diasumsikan terdiri atas: H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (mewakili komponen BTX), C<sub>14</sub>H<sub>10</sub> (mewakili tar), dan N<sub>2</sub> (inert).



**Gambar 1. Konfigurasi Sistem GBFT**

Boerrigter dkk<sup>[7]</sup> serta Milne dkk<sup>[8]</sup> menyatakan bahwa reaktor unggun terfluidisasi menghasilkan tar sebanyak 1% berat umpan biomassa dan BTX sebesar 0,5% volume gas sintesis. Kedua parameter tersebut digunakan sebagai asumsi dalam perhitungan neraca massa *gasifier*.

Menurut Yulistiani, F (2010)<sup>[9]</sup>, gasifikasi yang dijalankan dengan media udara kaya oksigen dan udara campuran menghasilkan gas sintesis yang hanya mengandung sedikit gas N<sub>2</sub>. Konfigurasi yang menghasilkan komposisi gas H<sub>2</sub> paling banyak adalah konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang dijalankan pada tekanan 25 bar dengan menggunakan media gasifikasi berupa campuran udara dan udara kaya oksigen. Sedangkan konfigurasi yang menghasilkan komposisi gas CO paling banyak adalah konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang dijalankan pada tekanan 1,3 bar dengan menggunakan media gasifikasi berupa udara campuran.

Gas sintesis yang dihasilkan dari proses gasifikasi mengandung berbagai kontaminan. Toleransi terhadap kontaminan tersebut umumnya sangat rendah, sehingga diperlukan proses pembersihan yang lebih mendalam. Selain itu, komposisi gas sintesis harus disesuaikan dengan kebutuhan proses sintesis FT menggunakan proses reformasi metana (mengkonversikan CH<sub>4</sub>

menggunakan kukus menjadi CO dan H<sub>2</sub>), reaksi pergeseran (menyesuaikan rasio H<sub>2</sub>/CO dengan mengkonversikan CO menggunakan kukus menjadi H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>), dan penghilangan CO<sub>2</sub> yang dapat mengurangi komposisi gas-gas inert yang akan masuk ke dalam proses FT. Reaksi reformasi metana dijalankan di dalam *autothermal reformer* (ATR), sedangkan penghilangan CO<sub>2</sub> dilakukan menggunakan proses *amine treating*.

Sistem pembersihan dan pengkondisian gas hasil gasifikasi terutama dilakukan untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan rasio komponen H<sub>2</sub> terhadap CO di dalam aliran gas sintesis agar sesuai dengan kebutuhan sintesis Fischer Tropsch.

Berdasarkan analisis sistem gasifikasi, masih terdapat 2-4 %-mol pengotor organik berupa C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> dan C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>. Komponen tersebut dapat dipecah menjadi komponen dasar CO dan H<sub>2</sub> menggunakan sistem *tar cracker*. Sistem *tar cracker* selain dapat menghilangkan komponen tar juga dapat meningkatkan jumlah komponen CO dan H<sub>2</sub> di dalam aliran gas.

Jenis pengotor lainnya yang berbentuk partikulat dihilangkan menggunakan siklon. Sedangkan untuk meningkatkan rasio H<sub>2</sub>/CO di dalam aliran gas sintesis, sistem yang dipilih untuk dikaji adalah sistem reaksi pergeseran air (*water gas shift reaction*). Hal tersebut disebabkan proses gasifikasi yang dilakukan menggunakan agen udara / O<sub>2</sub> menghasilkan sedikit CH<sub>4</sub> sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan proses *autothermal reforming* ataupun *steam reforming*. Perhitungan neraca massa dilakukan untuk sistem *shift reaction* dengan target rasio H<sub>2</sub>/CO = 2. Dari segi kesetimbangan, *shift reaction* merupakan reaksi dengan jumlah koefisien reaksi = 0, sehingga perbedaan tekanan tidak akan mempengaruhi kesetimbangan.

Gas keluaran *shift reactor* kemudian dilewatkan ke sistem penghilangan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Mengacu pada hasil penelitian Hamelinck dkk., dilakukan penghilangan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menggunakan sistem *Pressure Swing Adsorption* (PSA). Sistem ini terdiri atas 2 tahap adsorpsi dan desorpsi. Sistem adsorpsi dan desorpsi yang pertama dapat menghilangkan 100% CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Sedangkan sistem tahap kedua digunakan untuk memisahkan 16% gas H<sub>2</sub> yang diperlukan dalam sistem *hydrocracking*. Komposisi gas keluaran sistem PSA merupakan gas yang diumpankan ke dalam reaktor Fischer Tropsch.

Reaksi pertumbuhan rantai *Fischer Tropsch* dapat menghasilkan produk yang berada pada rentang: hidrokarbon ringan (C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>), LPG (C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>), nafta (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>), diesel (C<sub>13</sub>-C<sub>19</sub>), dan wax (C<sub>20+</sub>). Saat ini sintesis FT dioperasikan secara komersial oleh Sasol Afrika Selatan (berbasis batubara) dan Shell Malaysia (berbasis gas alam)<sup>1</sup>. Reaksi utama dalam sintesis FT adalah sebagai berikut:



Komponen -CH<sub>2</sub>- merupakan komponen dasar rantai hidrokarbon yang lebih panjang. Karakteristik utama terkait dengan kinerja sintesis FT adalah selektivitas. Selektivitas proses FT ditentukan oleh probabilitas pertumbuhan rantai yang menyatakan kemungkinan pertumbuhan rantai -CH<sub>2</sub>- dengan grup -CH<sub>2</sub>- lainnya. Produk yang terbentuk dari reaksi FT merupakan hidrokarbon yang memiliki panjang yang berbeda. Selektivitas rantai panjang (S<sub>C5+</sub>) diperlukan untuk mencapai jumlah maksimum hidrokarbon rantai panjang. Perolehan C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> berkurang apabila S<sub>C5+</sub> bertambah, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> yang terdapat di dalam gas buang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik di dalam gas buang. Hubungan antara perolehan hidrokarbon dengan probabilitas pertumbuhan rantai digambarkan melalui persamaan distribusi rantai karbon sebagai berikut:

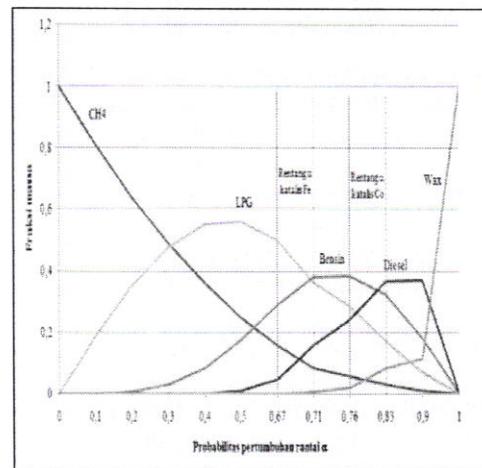
$$w_n = n\alpha^{n-1}(1 - \alpha)^2 \dots (3)$$

dengan:

- $\alpha$  = kemungkinan pertumbuhan rantai, bergantung pada jenis katalis
- n = jumlah atom C dalam rantai hidrokarbon

$w_n$  = fraksi massa hidrokarbon yang memiliki n buah atom C

Persamaan (3) menunjukkan fraksi massa rantai karbon yang dinyatakan oleh  $w_n$  dan  $(1 - \alpha)$  menunjukkan kemungkinan terminasi rantai -CH<sub>2</sub>-. Distribusi produk *Fischer Tropsch* berdasarkan persamaan (3) diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi Produk sintesis *Fischer Tropsch* berdasarkan persamaan (3)

Untuk katalis besi, nilai  $\alpha$  adalah 0,67 s.d. 0,71. Sedangkan untuk katalis Co, nilai  $\alpha$  adalah 0,76 s.d. 0,83. Untuk katalis Co, tekanan yang lebih tinggi akan menghasilkan rantai yang lebih panjang. Saat ini berbagai penelitian tengah dilakukan untuk mendapatkan katalis yang bisa memberikan  $\alpha = 0,9$ . Selain jenis katalis, faktor lain yang mempengaruhi distribusi produk FT adalah temperatur. Temperatur operasi yang lebih rendah akan menghasilkan rantai karbon yang lebih panjang, rantai tidak bercabang, dan senyawa oksigenates yang terbentuk lebih sedikit. Senyawa oksigenates adalah senyawa hidrokarbon yang mengandung komponen oksigen di dalam struktur kimianya.

Reaksi pergeseran air (*water-gas shift reaction*) hanya terjadi pada sintesis FT yang dilakukan menggunakan katalis Fe. Untuk proses gasifikasi biomassa yang

<sup>1</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Fischer%E2%80%93Tropsch\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Fischer%E2%80%93Tropsch_process)

menghasilkan gas sintesis dengan rasio  $H_2/CO$  rendah ( $<2$ ) diperlukan reaksi pergeseran untuk meningkatkan rasio tersebut. Tekanan parsial  $H_2$  dan  $CO$  yang lebih tinggi dapat menghasilkan selektivitas terhadap produk diesel yang lebih tinggi pula. Kehadiran inert ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ , Ar, dan hidrokarbon ringan) tidak mengganggu jalannya reaksi. Kandungan inert hanya akan mengurangi tekanan parsial  $H_2$  dan  $CO$  yang secara tidak langsung mempengaruhi konversi dan selektivitas terhadap produk FT Diesel (Hamelinck dkk., 2003)<sup>[6]</sup>.

Dari segi kondisi operasi, reaktor FT dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu HTFT (*high temperature FT*) dan LTFT (*low temperature FT*). Terdapat 3 (tiga) jenis reaktor FT yaitu: *fluidized bed reactor*, *fixed bed reactor*, dan *slurry reactor*. Menurut beberapa peneliti, reaktor *fixed bed* dan *slurry* merupakan reaktor FT yang paling menjanjikan. Kelebihan masing-masing reaktor sangat spesifik terhadap jenis biomassa yang digunakan, namun dari segi sensitivitas terhadap inert (relevan untuk biomassa yang diharapkan menghasilkan karakteristik gas dengan yang diperoleh dari gas alam) reaktor *slurry* lebih menguntungkan. Kekurangan utama pada reaktor *slurry* adalah perlunya penambahan unit pemisahan wax dan katalis, namun tidak terdapat informasi lengkap mengenai unit pemisahan tersebut.

Berdasarkan hasil studi Bartholomew (1990)<sup>[10]</sup> dan Schulz (1990)<sup>[11]</sup>, secara umum reaktor *slurry* merupakan reaktor yang paling efisien dan ekonomis untuk sintesis FT yang menggunakan bahan baku gas hasil gasifikasi. Sedangkan jenis katalis yang dipilih untuk digunakan dalam kajian adalah katalis Co, karena katalis ini dapat memberikan nilai  $\alpha$  yang lebih tinggi dibandingkan katalis Fe. Sehingga dapat diprediksikan bahwa rantai panjang yang dihasilkan melalui sintesis FT akan lebih banyak dan menyebabkan perolehan produk FT yang lebih banyak pula.

Berdasarkan hasil studi Yulistiani, F (2010)<sup>[9]</sup>, umpan reaksi Fischer Tropsch untuk konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang menggunakan media udara kaya

oksigen dan udara campuran memiliki komposisi  $CO + H_2$  di atas 90%. Sedangkan konfigurasi dengan sistem gasifikasi bermedia udara memiliki komposisi  $CO + H_2$  antara 39-40,3%. Kehadiran inert tidak mengganggu jalannya reaksi, namun dapat mengurangi tekanan parsial reaktan. Peningkatan perolehan produk FT dapat dilakukan melalui unit *hydrocracking*.  $H_2$  yang dibutuhkan untuk proses *hydrocracking* diperoleh dari unit reaksi pergeseran  $H_2$  yang kemudian dipisahkan menggunakan sistem PSA B. Reaksi *hydrocracking* dijalankan dengan komponen  $H_2$  sebagai pembatas reaksi. Oleh karena itu dalam kajian ini tidak dilakukan penambahan unit produksi  $H_2$  lainnya selain unit *shift reactor*. Konfigurasi yang menghasilkan produk Diesel FT paling banyak adalah konfigurasi dengan tekanan gasifikasi 6 bar dan media gasifikasi udara dan konfigurasi dengan tekanan gasifikasi 25 bar dan media gasifikasi udara. Selain itu secara umum sistem gasifikasi yang menggunakan media udara dapat menghasilkan Diesel FT yang lebih besar dibandingkan dengan sistem yang menggunakan media lainnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Apabila produk akhir yang diinginkan adalah diesel, diperlukan proses *hydrocracking* terhadap produk FT. Hidrogen ditambahkan untuk memutuskan ikatan rangkap, sehingga cairan-FT dapat direngkahkan secara katalitis. Efisiensi karbon keseluruhan dalam tahap *hydrocracking* mendekati 100%.

Hasil samping dari sistem GBFT adalah listrik yang dibangkitkan dengan *combined cycle* menggunakan bahan baku gas buang. Dalam sistem GBFT juga terdapat aliran-aliran gas yang membutuhkan proses pendinginan seperti aliran gas keluaran turbin gas dan gas sintesis keluaran proses gasifikasi. Proses pendinginan tersebut dapat menghasilkan *superheated steam* yang dapat diekspansi di dalam turbin terkondensasi parsial untuk menghasilkan listrik. Kukus bertemperatur rendah juga dapat dimanfaatkan kembali seperti pada proses pengeringan dan proses-proses lainnya yang membutuhkan kukus seperti reaktor

pergeseran. Produk ringan dari sistem sintesis FT dan gas sisa masih memiliki kandungan energi yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik melalui sistem *combined cycle*.

Melalui simulasi yang didasarkan kepada proses gasifikasi janggel jagung dan reaksi *Fischer Tropsch*, dengan konfigurasi umpan dan proses reaksi yang cocok akan dihasilkan minyak diesel FT yang optimal. Konfigurasi yang tepat untuk mengolah janggel jagung tersebut menjadi Diesel FT adalah sistem GBFT yang menerapkan sistem gasifikasi pada tekanan 25 bar menggunakan media udara. Berdasarkan konfigurasi optimal, hasil perhitungan neraca massa dan energi proses gasifikasi, dan kapasitas masing-masing unit operasi diberikan dalam Tabel 1.

Sistem dengan umpan 300.000 ton/tahun dapat menghasilkan 58,9 juta liter Diesel FT/tahun dan 409 GWh listrik/tahun. Investasi yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik GBFT dengan konfigurasi tersebut adalah Rp 4,29 triliun (dengan komposisi 70% pinjaman bank dan 30% modal sendiri) dan modal kerja selama 4 bulan sebesar Rp 52,92 milyar (100% pinjaman bank). Apabila Diesel FT dapat dijual dengan harga Rp 7.500/L dan listrik dengan harga Rp 1.500/kWh, investasi tersebut memiliki nilai IRR sebesar 16,01% dan NPV setelah 20 tahun sebesar Rp 1,7 triliun. Investasi dapat dikembalikan setelah 6,8 tahun.

**Tabel 1. Komposisi Unit Produksi GBFT**

No	Unit Operasi		
1	<b>Sistem Penyiapan Umpan</b>		
	Konveyor	wet ton/jam	37,5
	Penggiling	wet ton/jam	37,5
	Penyimpanan	wet ton/jam	37,5
	Pengumpanan	wet ton/jam	37,5
2	<b>Sistem Gasifikasi</b>		
	CFB Gasifier	ton kering/jam	34,4
	Unit pemisahan udara 95%	ton O <sub>2</sub> /hari	373,2
	Kompresor oksigen	Mwe	1,5
3	<b>Sistem Pembersihan Gas</b>		
	Siklon	m <sup>3</sup> gas/s	1,6
	Tar Cracker	m <sup>3</sup> gas/s	3,7
	HE Temperatur Tinggi	MWth	52,4
	Guard beds (active C dan ZnO)	m <sup>3</sup> NTP gas/s	3,7
4	<b>Sistem Pemrosesan Gas Sintesis</b>		
	Kompresor	MWe	2,1
	Reaktor Pergeseran	kmol CO+H <sub>2</sub> /jam	1.548,70
	PSA A dan B	kmol total/jam	2.461,90
5	<b>Sistem Produksi FT Fuel dan Listrik</b>		
	Reaktor FT	m <sup>3</sup>	23,8
	Hydrocracker	m <sup>3</sup> FT/hr	15,6
	Steam turbine + steam system	MWe	35,8
	Expansion Turbine	MWe	6

## KESIMPULAN

Berdasarkan uraian peluang pemanfaatan biomassa janggel jagung sebagai produksi bahan bakar diesel di atas, kesimpulan yang dapat diambil antara lain adalah sebagai berikut:

1. Konfigurasi yang cocok untuk mengolah janggel jagung tersebut menjadi Diesel FT adalah sistem GBFT yang menerapkan sistem gasifikasi pada tekanan 25 bar menggunakan media udara
2. Dengan menggunakan umpan janggel jagung sebesar 300.000 ton/tahun dapat menghasilkan 58,9 juta liter Diesel FT/tahun.
3. Dapat dihasilkan produk samping berupa energi listrik sebesar 409 GWh listrik/tahun.
4. Nilai IRR sebesar 16,01% tingkat pengembalian modal selama 6,8 tahun.
5. Produksi minyak diesel melalui sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada minyak bumi di masa depan.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Pusat Data dan Informasi Pertanian, Departemen Pertanian Republik Indonesia (2008), Potensi Limbah Janggel Jagung di Indonesia, Departemen Pertanian, <http://deptan.go.id>, diakses tanggal 5 Oktober 2009;
2. Peraturan Presiden Nomor. 5 Tahun 2006: Kebijakan Energi Nasional.
3. Channiwala SA, Parikh PP (2002), A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuel, *Fuel* 81.
4. Faaij A, Meuleman B, dan van Ree R (1998), Long term perspectives of biomass integrated gasification with combined cycle technology, Netherlands agency for energy and the environment.
5. Jangsawang W, Ashwani K. Gupta, Kuniyuki Kitagawa, Sang C. Lee (2007), High Temperature Steam and Air Gasification of Non-woody Biomass Wastes, Phranakhon Rajabhat University, *As. J. Energy Env.* 08(03).
6. Hamelinck CN, Faaij APC, den Uil H, Boerrigter H (2003), Production of FT transportation fuels from biomass; technical options, process analysis and optimization, and development potential, *Netherland Energy Research Foundation ECN and Utrecht University/Science Technology and Society*.
7. Milne, T.A., R.J. Evans (1998), Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation, and Conversion, *National Renewable Energy Laboratoty*.
8. Boerrigter H, den Uil, Calis H, 2002, *Green Diesel from biomass via Fischer-Tropsch synthesis: New insight in gas cleaning and process design*, Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste Expert Meeting, Strasbourg;
9. Yulistiani, Fitria (2010), *Kajian Tekno Ekonomi Pabrik Fischer Tropsch Diesel berbasis gasifikasi janggel jagung di Madura dan Sulawesi Selatan*, Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
10. Bartholomew CH, 1990, *Recent technological developments in Fischer-Tropsch catalysis*, *Catalysis Letters* 7: 303 – 316;
11. Schulz H, 1999, Short history and present trends of *Fischer-Tropsch synthesis*, *Applied Catalysis A: General* 186(1-2): 3 – 12;