

Studi Pemanfaatan Batubara Indonesia Peringkat Rendah dengan Metode Gasifikasi *Entrained Flow* pada Sistem PLTGU di Indonesia

Toto Hardianto*, Muhammad Rusviandi, Adrian R Irhamna, Pandji Prawisudha

Institut Teknologi Bandung, Indonesia
Email: toto@termo.pauir.itb.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan batubara dapat dilakukan melalui proses gasifikasi. Gasifikasi batubara adalah proses konversi batubara secara termal menjadi gas yang memiliki nilai kalor yang berguna. Produk gas yang dihasilkan disebut *syngas*.

Melalui proses gasifikasi, batubara dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang teknologi, salah satunya sebagai bahan bakar PLTGU menggantikan gas alam yang harganya relatif jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan batubara. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan rekayasa proses gasifikasi batubara dan kemudian dianalisis dalam penerapannya pada PLTGU di Indonesia. Rekayasa proses gasifikasi dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan sebuah perangkat lunak komputasi proses. Umpan batubara yang digunakan adalah salah satu batubara peringkat rendah Indonesia dan metode gasifikasi yang dipilih adalah *entrained flow gasifier*. Untuk mendapatkan prestasi gasifikasi terbaik, maka dilakukan analisis penggunaan proses *pre-drying* pada gasifikasi batubara. *Syngas* hasil gasifikasi dengan proses *pre-drying* tersebut memiliki energi panas sebesar 10.415,8 kJ per kg batubara masukan dan *sensible heat* sebesar 4.100,2 kJ per kg batubara masukan.

Karakteristik hasil gasifikasi dengan proses *pre-drying* dijadikan dasar dalam analisis proses penerapan gasifikasi batubara pada sistem PLTGU di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan energi sistem PLTGU berkapasitas total 590 MW, dibutuhkan konsumsi batubara sebesar 10.544,1 ton/hari dalam proses gasifikasi.

Kata Kunci : Gasifikasi batubara, batubara Indonesia peringkat rendah, *entrained flow gasifier*, bahan bakar PLTGU.

1. Latar Belakang

Dewasa ini, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, terutama minyak, masih sangat tinggi, baik dalam penggunaan pada sektor transportasi maupun pada sektor industri. Namun, hal tersebut juga diiringi dengan ketersediaannya di Indonesia yang semakin menipis. Oleh karena itu maka perlu dicari sumber energi alternatif yang baru dan terutama terbarukan untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Hal ini sejalan dengan kebijakan energi menurut Perpres 5/2006 yang pada dasarnya negara ingin mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan bahan bakar alternatif.

Batubara merupakan sumber energi berupa bahan bakar padat yang jumlahnya sangat besar di Indonesia. Data badan geologi kementerian ESDM menyebutkan bahwa sumberdaya batubara Indonesia total tahun 2011 mencapai 105 milyar ton dengan produksi mencapai 353 juta ton per tahun [1]. Berdasarkan data tersebut di atas, dapat diperkirakan bahwa batubara Indonesia masih berumur sekitar 300 tahun. Dengan perkiraan umur yang masih panjang tersebut, maka meskipun termasuk bahan bakar fosil, batubara merupakan bahan

bakar yang masih berpotensi untuk dijadikan sumber energi alternatif.

Dari data di atas, batubara peringkat rendah (nilai kalor di bawah 5.100 kal/gr) [2] belum maksimal dimanfaatkan karena faktor nilai kalor dan harga jual yang rendah. Padahal batubara peringkat rendah dapat digunakan secara tidak langsung yaitu dengan melakukan konversi terlebih dahulu menjadi bentuk lain sebelum kemudian menghasilkan energi yang bisa dimanfaatkan, contohnya gasifikasi.

Gasifikasi batubara adalah proses konversi batubara secara termal menjadi gas dengan nilai kalor tinggi dan dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Melalui gasifikasi, batubara peringkat rendah berpotensi untuk digunakan secara lebih luas dalam dunia industri. Hal ini didukung oleh jumlah batubara yang banyak di Indonesia. Obyek paling potensial dalam penerapan proses gasifikasi adalah sistem pembangkit listrik yang sudah menggunakan gas alam sebagai bahan bakarnya, dan salah satunya adalah PLTGU.

Teknologi yang sudah menerapkan proses gasifikasi pada sistem PLTGU dikenal dengan

nama *Integrated Gasification Combined Cycle* (IGCC) [3]. Saat ini, teknologi IGCC belum banyak dikembangkan di Indonesia. Maka, dalam rangka pengembangan teknologi IGCC di Indonesia, penelitian ini melakukan studi tentang penerapan gasifikasi dengan umpan batubara Indonesia peringkat rendah pada sistem PLTGU yang juga di Indonesia.

Ada dua aspek yang dituju dalam makalah ini, yang pertama adalah menganalisis dan melakukan upaya peningkatan prestasi proses gasifikasi batubara menggunakan metode *entrained flow* dengan umpan batubara Indonesia peringkat rendah. Aspek kedua yaitu menganalisis hasil proses gasifikasi tersebut untuk diterapkan pada sistem PLTGU di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, batubara akan dianalisis untuk digunakan sebagai umpan pada proses gasifikasi dan diterapkan pada sistem PLTGU di Indonesia. Rekayasa proses gasifikasi dilakukan dengan memvariasikan parameter rasio udara-batubara untuk selanjutnya dianalisis dalam upaya peningkatan prestasi gasifikasi tersebut. Batubara yang digunakan sebagai umpan dalam proses gasifikasi adalah batubara Indonesia peringkat rendah yang termasuk *Ecocoal*.

Analisis proses gasifikasi dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ASPEN PLUS, yaitu perangkat lunak simulasi proses untuk memprediksi performa sistem-sistem termal. Proses gasifikasi batubara dimodelkan untuk dapat menggambarkan proses utama yang terjadi pada proses gasifikasi batubara, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi.

Selanjutnya, rekayasa proses gasifikasi dilakukan dengan memvariasikan sebuah parameter utama yang berpengaruh signifikan pada hasil gasifikasi batubara, yaitu nilai rasio udara/batubara. Dari hasil analisis parameter tersebut, didapatkan proses gasifikasi yang memiliki prestasi terbaik untuk kemudian dilakukan analisis upaya peningkatan prestasi gasifikasi lebih lanjut. Dalam upaya tersebut, proses gasifikasi dengan nilai rasio udara/batubara pada prestasi terbaik disimulasikan dengan menambahkan sebuah proses *pre-drying*, yaitu proses pengeringan batubara sebelum digunakan dalam proses gasifikasi.

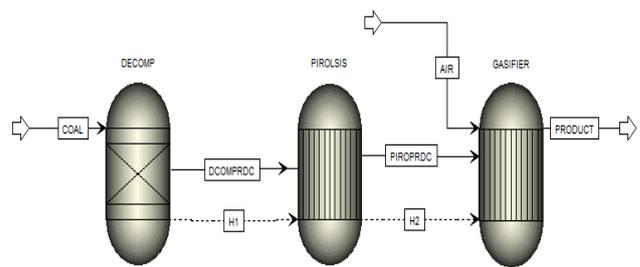
Hasil gasifikasi dengan menggunakan proses *pre-drying* kemudian dianalisis untuk diterapkan pada sistem PLTGU di Indonesia. Dalam analisis tersebut, dipilih satu PLTGU sebagai objek studi kasus, yaitu PLTGU X yang merupakan suatu unit PLTGU di Indonesia. PLTGU X berkapasitas total

590 MW dengan konfigurasi 3 unit PLTG berkapasitas masing-masing 130 MW dan 1 unit PLTU berkapasitas 200 MW. Penerapan gasifikasi pada sistem PLTGU pada penelitian ini terdiri dari dua aspek, yang pertama yaitu penggunaan gas hasil gasifikasi sebagai bahan bakar sistem PLTG pada PLTGU X, dan yang kedua adalah pemanfaatan *sensible heat syngas* dari proses gasifikasi batubara, untuk pemanasan pada PLTGU X.

3. Simulasi Proses Gasifikasi Batubara

3.1 Model Proses Gasifikasi Batubara

Dalam simulasi, proses gasifikasi batubara dimodelkan melalui 3 step proses seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Model Proses Gasifikasi

3.2 Deskripsi Model Proses Gasifikasi

Berdasarkan gambar 3.1, aliran “COAL” didefinisikan sebagai aliran batubara masuk *gasifier*. Data yang digunakan dalam mendefinisikan aliran ini adalah *proximate analysis* dan *ultimate analysis* batubara. Aliran “COAL” kemudian masuk komponen “DECOMP” yang berfungsi mendekomposisi batubara berdasarkan *proximate* dan *ultimate* analisisnya, termasuk di dalamnya proses dekomposisi H₂O dari batubara yang dapat menggambarkan proses pengeringan dalam gasifikasi. Reaktor yang digunakan pada komponen tersebut adalah reaktor RYIELD. Reaktor ini digunakan ketika reaksi stoikiometri tidak diketahui atau tidak diutamakan, namun komposisi dan kesetimbangan massa reaktan dan produk reaksi diketahui [4].

Hasil dari proses dekomposisi pada “DECOMP” didefinisikan sebagai aliran “DCOMPRDC”. Aliran hasil dekomposisi tersebut kemudian memasuki komponen “PIROLISIS”, yang memodelkan proses pirolisis serta reaksi-reaksi antara gas-gas hasil pirolisis yang terjadi tanpa kehadiran oksigen dari udara. Hasil dari komponen “PIROLISIS” didefinisikan sebagai aliran “PIROPRDC”, yang selanjutnya memasuki komponen “GASIFIER”. Komponen “GASIFIER” memodelkan proses oksidasi dan

reduksi. Reaksi pada komponen ini terjadi akibat kehadiran udara yang didefinisikan melalui aliran “AIR” dan memiliki jumlah yang lebih kecil dari stoikiometrik sehingga menggambarkan proses yang terjadi pada gasifikasi.

Reaktor yang digunakan pada komponen “GASIFIER” dan “PIROLISIS” adalah reaktor RGIBBS. Reaktor ini digunakan ketika reaksi yang terjadi dan elemen yang terlibat dalam reaksi berjumlah banyak, serta ketika reaksi stoikiometrik yang terjadi tidak diketahui tetapi temperatur dan tekanan operasinya diketahui [4]. Selanjutnya aliran “PRODUCT” didefinisikan sebagai aliran hasil proses gasifikasi yang terdiri dari syngas dan abu.

Dalam pemodelan ini, aliran “H1” dan “H2” didefinisikan sebagai aliran panas yang mengalir antara komponen “DECOMP”, “PIROLISIS”, dan “GASIFIER”. Dengan aliran “H1” dan “H2” tersebut, aliran panas dimodelkan dapat mengalir di antara ketiga komponen tersebut yang sekaligus menggambarkan aliran panas yang terjadi pada proses gasifikasi.

4. Rekayasa Proses Gasifikasi dan Penerapannya pada PLTGU

4.1 Kondisi Proses Gasifikasi

Dalam rekayasa proses gasifikasi, yang pertama dilakukan adalah memilih metode gasifikasi yang didasari oleh tujuan aplikasi di mana proses gasifikasi tersebut akan digunakan. Dalam penelitian ini proses gasifikasi batubara akan diaplikasikan pada sistem PLTGU, sehingga kriteria metode gasifikasi yang dibutuhkan yaitu:

1. Menghasilkan *syngas* yang bebas tar.
2. Temperatur keluar *syngas* yang tinggi sehingga *sensible heat* yang masih dapat dimanfaatkan sistem PLTGU.
3. Dapat beroperasi pada rentang tekanan yang luas.
4. Waktu tinggal batubara yang singkat dan laju produksi gas hasil yang tinggi.

Berdasarkan keempat kriteria di atas, maka metode gasifikasi yang digunakan adalah *entrained flow gasifier*.

Pada umumnya metode *entrained flow gasifier* menggunakan oksigen sebagai fluida penggasifikasi [5]. Namun, secara komersial hal tersebut membutuhkan biaya yang tinggi. Di sisi lain, terbuka kesempatan menggunakan udara sebagai fluida penggasifikasi. Oleh karena itu simulasi proses gasifikasi yang dianalisis menggunakan udara sebagai fluida penggasifikasi.

Data *proximate analysis*, *ultimate analysis*, dan *Ash Fusion Temperature* (AFT)

batubara Ecocoal yang digunakan sebagai umpan ditunjukkan melalui **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1 *Proximate Analysis* dan *Ultimate Analysis* Batubara Ecocoal [6]

No	Komponen Analisis	Parameter	Basis	Nilai (%wt)
1	<i>Proximate Analysis</i>	Fixed Carbon	adb	36
		Inherent Moisture	adb	20,5
		Volatile Matter	adb	38
		Ash	adb	5,5
		Total Moisture	ar	36
2	<i>Ultimate Analysis</i>	C	daf	71,5
		H	daf	4,84
		N	daf	1,01
		O	daf	22,2
		S	daf	0,45

Tabel 2 *Ash Fusion Temperature* Batubara Ecocoal

Komponen Analisis	Parameter	Nilai (°C)
<i>Ash Fusion Temperature (AFT) in Reducing Atmosphere</i>	Initial	1.150
	Spherical	1.170
	Hemispherical	1.200
	Flowing	1.230

[6]

Kondisi operasi proses gasifikasi yang dibutuhkan:

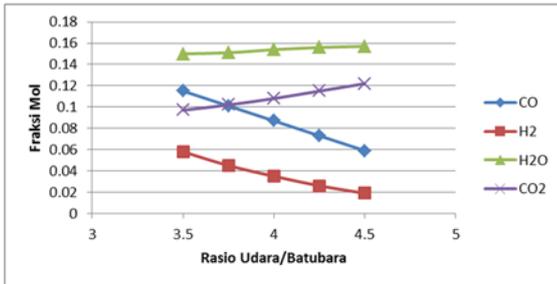
1. Tekanan operasi 1 bar, maka *syngas* hasil gasifikasi perlu dikompresi di atas tekanan input ke PLTGU.
2. Temperatur operasi *gasifier* harus lebih besar dari *Flowing Temperature* abu batubara Ecocoal.
3. Nilai rasio udara/batubara yang digunakan merupakan nilai di mana temperatur operasi gasifier tetap berada di atas *flowing temperature* abu batubara Ecocoal.

4.2 Pengaruh Rasio Udara/batubara terhadap Hasil Proses Gasifikasi

Untuk mengetahui pengaruh nilai rasio udara/batubara terhadap karakteristik *syngas* hasil gasifikasi batubara, maka disimulasikan proses gasifikasi batubara Ecocoal dengan menggunakan lima nilai rasio udara/batubara yang berbeda. Nilai rasio terendah adalah 3,5 yang merupakan rasio terendah penghasil temperatur *gasifier* di atas *flowing temperature* abu batubara Ecocoal, sesuai kebutuhan *entrained flow gasifier*. Rasio udara/batubara tersebut dalam basis massa. Komposisi *syngas* hasil gasifikasi pada lima rasio udara/batubara dipaparkan pada **Gambar 2**.

Berdasarkan data yang dipaparkan pada gambar 2, penurunan komposisi gas CO dan H₂ serta kenaikan komposisi gas CO₂ dan H₂O seiring dengan meningkatnya rasio udara/batubara

disebabkan karena semakin besar nilai masukan udara terhadap umpan batubara, maka jumlah reaksi oksidasi penghasil gas CO₂ dan H₂O semakin meningkat serta reaksi reduksi penghasil gas CO dan H₂ semakin berkurang. Dengan berubahnya komposisi *syngas*, maka nilai daya termal, yang merupakan energi persatuan waktu hasil pembakaran *syngas*, juga akan berubah.

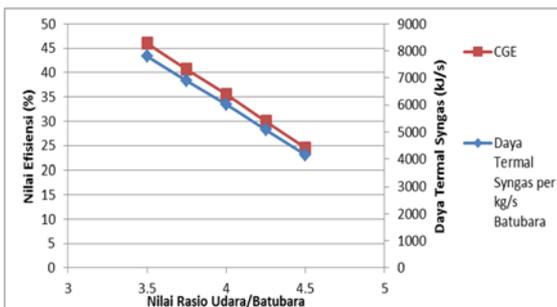


Gambar 2 Komposisi Syngas Hasil Gasifikasi pada Lima nilai Rasio Udara/Batubara

Perubahan daya termal tersebut menyebabkan berubahnya nilai *Cold Gas Efficiency* (CGE), yang didefinisikan sebagai perbandingan energi persatuan waktu antara gas hasil gasifikasi dan umpan yang dimasukkan. Energi gas hasil gasifikasi pada CGE dihitung saat gas berada dalam keadaan dingin. CGE diformulasikan sebagai [5][7]:

$$\eta_{CGE} = \frac{LHV \text{ gas hasil} \times \text{laju massa gas hasil}}{LHV \text{ umpan} \times \text{laju massa umpan}} \times 100\%$$

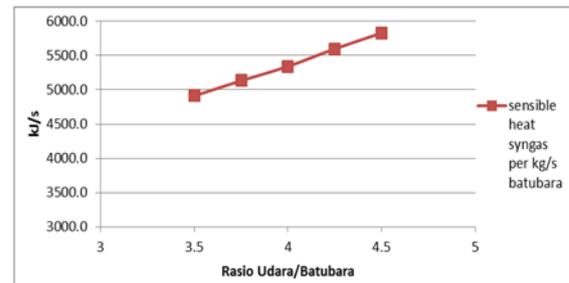
Perubahan daya termal *syngas* dan CGE yang terjadi akibat perubahan nilai rasio udara/batubara dipaparkan pada gambar 3, yang menunjukkan bahwa daya termal dan nilai CGE proses gasifikasi mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai rasio udara/batubara yang digunakan.



Gambar 3 Pengaruh Rasio Udara/Batubara terhadap Daya Termal Syngas dan CGE Proses Gasifikasi

Parameter lain yang bisa dibandingkan adalah *sensible heat* dari *syngas*. Pada gasifikasi *entrained flow*, setelah melalui proses pemisahan antara *syngas* dan abu batubara melalui

pendinginan, *syngas* keluar *gasifier* pada temperatur sekitar 900°C [5]. Oleh karena itu pada gasifikasi dengan batubara Eco coal, temperatur 900°C dijadikan acuan di mana panas *syngas* bisa dimanfaatkan. Bila *syngas* diasumsikan masuk ruang bakar turbin gas pada 30°C, maka rentang temperatur *sensible heat syngas* berpotensi dimanfaatkan adalah 900-30°C. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa *sensible heat* dari *syngas* meningkat seiring dengan meningkatnya nilai rasio udara/batubara seperti pada **Gambar 4**.

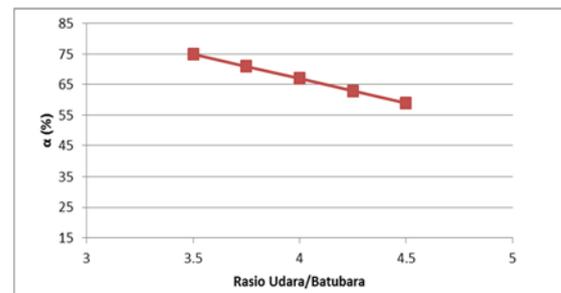


Gambar 4 Pengaruh Rasio Udara/Batubara terhadap Nilai Sensible Heat Syngas Hasil Gasifikasi

Namun, bila perbandingan antara total energi yang dihasilkan dan daya termal masukan batubara (yang didefinisikan sebagai parameter baru α) dihitung, maka diperoleh hasil yang berbeda. Nilai α diformulasikan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\text{Daya termal syngas} + \text{Sensible heat syngas}}{\text{Daya termal batubara masukan}} \times 100\%$$

Nilai α mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai rasio udara/batubara, seperti ditunjukkan melalui **Gambar 5**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa total energi yang diperoleh dari proses gasifikasi batubara mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai rasio udara/batubara.



Gambar 5 Nilai α pada Lima Nilai Rasio Udara/Batubara

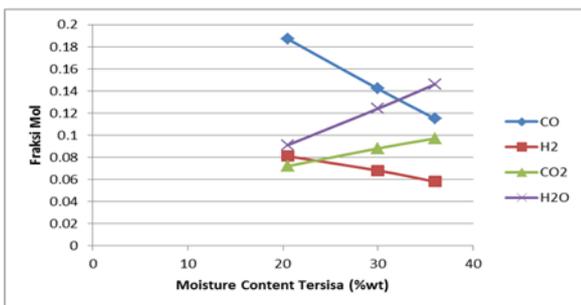
Dari pemaparan hasil gasifikasi pada lima nilai rasio udara/batubara yang digunakan, terlihat bahwa nilai rasio 3,5 memiliki prestasi yang paling baik. Hal tersebut terbukti dengan nilai CGE dan α terbesar bila dibandingkan dengan

keempat nilai rasio lainnya. Berdasarkan hal tersebut maka nilai rasio udara/batubara 3,5 akan digunakan dalam analisis peningkatan prestasi gasifikasi dengan proses *pre-drying*.

4.3 Peningkatan Prestasi Gasifikasi Batubara Ecocoal dengan Proses *Pre-drying*

Bagian ini menganalisis upaya peningkatan prestasi gasifikasi dengan menggunakan proses *pre-drying* untuk mendapatkan hasil gasifikasi yang lebih baik. Dalam proses *pre-drying*, jumlah kandungan air batubara yang bisa diuapkan sebesar *surface moisture* batubara. Pada batubara Ecocoal, jumlah kandungan air setelah *surface moisture* diuapkan adalah sebesar nilai *inherent moisture*, yaitu 20,5%.

Komposisi *syngas* hasil gasifikasi batubara Ecocoal dengan proses *pre-drying* ditunjukkan melalui gambar 6. Dari pemaparan tersebut dapat dilihat bahwa semakin sedikit *moisture content* yang tersisa, atau semakin besar uap air yang diuapkan, maka komposisi gas CO dan H₂ akan mengalami peningkatan sedangkan komposisi gas CO₂ dan H₂O mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan karena semakin sedikit jumlah *moisture content* yang tersisa maka akan semakin sedikit pula jumlah uap air yang harus diuapkan sehingga dibutuhkan lebih sedikit proses pembakaran untuk menghasilkan panas.



Gambar 6 Komposisi Syngas pada Tiga Kondisi Kandungan *Moisture Content* Batubara

Adapun prestasi proses gasifikasi dengan umpan batubara hasil *pre-drying* dibandingkan dengan tanpa *pre-drying* pada laju masukan batubara sebesar 1 kg/s ditunjukkan melalui **Tabel 3**.

Tabel 3 Prestasi Gasifikasi Batubara Hasil *Pre-drying* dan tanpa *Pre-drying* Pada Laju Masukan Batubara 1 kg/s

No	Moisture Content Tersisa (%wt)	LHV Syngas (kJ/kmol)	Daya Termal Syngas (kJ/s)	Sensible Heat Syngas (kJ/s)	Cold Gas Efficiency (%)	η (%)
1	36 (tanpa <i>pre-drying</i>)	1.739,4	7.757,7	4.911,0	46	75
2	30	2.141,6	8.951,8	4.660,4	53	77
3	20,5	2.770,2	10.415,8	4.100,2	61	82

Tabel 3 menunjukkan bahwa LHV *syngas* mengalami peningkatan seiring dengan menurunnya kandungan *moisture content* yang tersisa dari proses *pre-drying*. Peningkatan tersebut terjadi dikarenakan meningkatnya komposisi gas penyusun *syngas* hasil gasifikasi yang memiliki nilai bakar, yaitu CO dan H₂. Dengan meningkatnya LHV *syngas* maka daya termal *syngas* dan CGE juga akan meningkat.

Di sisi lain, nilai *sensible heat syngas* mengalami penurunan seiring dengan menurunnya *moisture content* yang tersisa dari hasil proses *pre-drying*. Meskipun nilai *sensible heat* tersebut mengalami penurunan, tetapi bila ditinjau dari total energi yang dihasilkan, yaitu berupa daya termal dan *sensible heatsyngas*, proses gasifikasi dengan proses *pre-drying* memiliki total energi yang lebih besar dibandingkan dengan proses gasifikasi tanpa *pre-drying*. Hal tersebut terlihat dari parameter α yang meningkat seiring dengan menurunnya *moisture content* yang tersisa dari hasil *pre-drying*.

Berdasarkan perbandingan hasil gasifikasi pada ketiga proses *pre-drying* di atas, proses gasifikasi dengan *pre-drying* sampai 20,5% *moisture content* tersisa memiliki prestasi yang paling baik. Untuk itu, selanjutnya akan dianalisis produk gasifikasi batubara pada kondisi tersebut untuk diterapkan pada sistem PLTGU di Indonesia.

4.4 Penerapan Gasifikasi Batubara pada Sistem PLTGU di Indonesia

Analisis yang akan dilakukan pada bagian ini adalah menerapkan produk gasifikasi batubara ecocoal dengan *pre-drying* sampai 20,5% *moisture content* tersisa pada satu unit PLTG dan satu unit PLTU pada sistem PLTGU X. Dalam penerapan tersebut, *syngas* hasil gasifikasi dimanfaatkan sebagai bahan bakar sistem PLTG pada PLTGU X serta *sensible heatsyngas* digunakan sebagai sumber panas pada proses *pre-drying* dan HRSG. Berdasarkan data operasi PLTGU X, diketahui konsumsi gas alam satu unit PLTG adalah sebesar 9,2 kg/s [8], oleh karena itu kebutuhan energi yang harus dicukupi (\dot{Q}_{in}) adalah sebesar [9]:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{gas\ alam} \times LHV_{gas\ alam}$$

di mana $\dot{m}_{gas\ alam}$ adalah laju massa gas alam (kg/s) dan $LHV_{gas\ alam}$ adalah nilai kalor gas alam dalam basis LHV (kJ/kg). Dengan perhitungan di atas maka didapatkanlah energi yang harus dipenuhi adalah sebesar 423.704,16 kJ/s.

Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut, maka dengan LHV_{syngas} sebesar 2.770,2 kJ/kg, laju konsumsi $syngas$ (kg/s) yang dibutuhkan adalah sebesar:

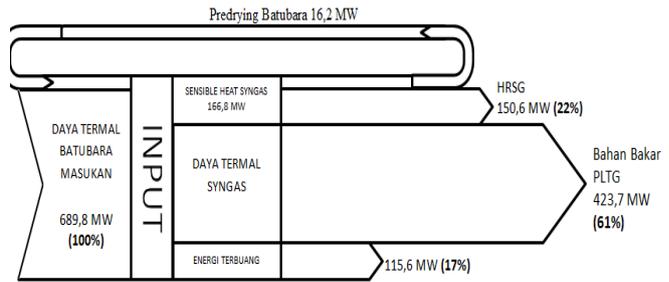
$$\dot{m}_{syngas} = \frac{\dot{Q}_{in}}{LHV_{syngas}}$$

dengan Q_{in} dalam kJ/s dan LHV_{syngas} dalam kJ/kg. Dengan perhitungan di atas didapatkanlah konsumsi $syngas$ yang dibutuhkan adalah sebesar 152,95 kg/s. Berdasarkan hasil simulasi gasifikasi batubara ecocoal dengan proses *pre-drying* sampai 20,5% *moisture content* tersisa, dengan laju umpan batubara 1 kg/s, laju produksi $syngas$ yang didapatkan adalah sebesar 3,76 kg/s. Dengan perbandingan tersebut maka laju umpan batubara yang dibutuhkan untuk mendapatkan laju produksi $syngas$ sebesar 152,95 kg/s adalah sebesar 40,68 kg/s atau 3.514,7 ton/hari.

Dengan jumlah konsumsi batubara 3.514,7 ton/hari, didapatkan nilai *sensible heat syngas* sebesar 166,8 MW. *Sensible heat* tersebut digunakan sebagai sumber panas proses *pre-drying* dan HRSG. Dalam penggunaan sebagai sumber panas *pre-drying*, jumlah *sensible heat* yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air batubara ecocoal adalah:

$$\dot{Q}_{penguapan} = \dot{m}_{mc\ diuapkan} \times (h_b - h_a)$$

di mana $\dot{m}_{mc\ diuapkan}$ adalah laju massa kandungan air batubara ecocoal yang harus diuapkan (kg/s) dan $(h_b - h_a)$ adalah entalpi air setelah penguapan dikurangi entalpi sebelum penguapan (kJ/kg). Selanjutnya bila diasumsikan kondisi penguapan pada tekanan 1 bar dan temperatur awalnya adalah 25 °C, maka *sensible heat* yang dibutuhkan pada proses *pre-drying* adalah sebesar 16,2 MW. Dengan nilai tersebut, maka *sensible heat* yang dapat digunakan sebagai sumber panas HRSG adalah sebesar 150,6 MW. Aliran energi proses gasifikasi ecocoal dengan proses *pre-drying* sampai 20,5% *moisture content* tersisa dipaparkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Diagram Sankey Aliran Energi pada Penerapan Proses Gasifikasi Batubara pada 1 Unit PLTG dan 1 Unit PLTU dalam Sistem PLTGU X

5. Kesimpulan

Batubara Indonesia peringkat rendah dapat dimanfaatkan sebagai umpan pada proses gasifikasi dengan karakter prestasi yang menurun seiring dengan meningkatnya rasio udara/batubara dan meningkat dengan adanya proses *pre-drying* batubara pada gasifikasi. Peningkatan prestasi gasifikasi akibat proses *pre-drying* dapat dilihat dari peningkatan nilai LHV dan daya termal $syngas$, CGE, serta parameter α yang terjadi bila dibandingkan dengan proses gasifikasi tanpa *pre-drying*.

Dalam penerapan proses gasifikasi batubara ecocoal dengan proses *pre-drying* pada sistem PLTGU X berkapasitas total 590 MW, harga parameter yang didapatkan adalah :

- Parameter pertama adalah konsumsi batubara, di mana konsumsi batubara yang sebanding dengan 9,2 kg/s konsumsi gas alam satu unit PLTG berkapasitas 130 MW dalam memenuhi kebutuhan energi sistem PLTGU X adalah sebesar 3.514,7 ton/hari. Berdasarkan hal tersebut dibutuhkan konsumsi batubara 10.544,1 ton/hari untuk memenuhi kebutuhan energi total PLTGU X yang memiliki konfigurasi 3 unit PLTG dan 1 unit PLTU.
- Parameter kedua adalah *sensible heat syngas*, di mana dengan konsumsi batubara sebesar 3.514,7 ton/hari untuk memenuhi kebutuhan energi satu unit PLTG pada sistem PLTGU X, memiliki nilai sebesar 166,8 MW. Maka total *sensible heat syngas* yang dapat dimanfaatkan pada PLTGU X (3 unit PLTG dan 1 unit PLTU) adalah sebesar 500,4 MW (3 x 166,8 MW), dengan 48,6 MW (3 x 16,2 MW) dari *sensible heat* tersebut digunakan sebagai sumber panas proses *pre-drying* dan 451,8 MW (3 x 150,6 MW) digunakan sebagai sumber panas HRSG.

Berdasarkan analisis penelitian ini, maka pada penelitian selanjutnya perlu digunakan beberapa jenis umpan batubara peringkat rendah sehingga dapat diperoleh perbandingan karakteristik proses gasifikasi pada berbagai macam batubara Indonesia peringkat rendah. Di samping itu, apabila sistem penerapan proses gasifikasi batubara ini akan diterapkan pada sistem PLTGU di Indonesia dengan tujuan komersial, maka perlu dilakukan analisis ekonomi (*cost analysis*) untuk menjadi salah satu dasar pertimbangan.

Daftar Pustaka

1. Pusat Data dan Informasi ESDM, *Handbook of Energy and Economics Statistic of Indonesia*, Ministry of Energi and Mineral Resources, Indonesia, 2012.
2. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Peta Sebaran Lokasi Batubara Indonesia*, Kementrian ESDM, 2009
3. Ratih Asthary, *Integrated Coal Gasification Combined Cycle*, (Online), 16 Desember 2007 (<http://majarimagazine.com/2007/12/teknologi-gasifikasi-batubara/>, diakses 17 April 2013).
4. AspenTech, *Introduction to Aspen Plus: Reactor Models*, Aspen Technology, Inc., (online), 2003 (<http://www.just.edu.jo/~chemeng/nabil/cad/Reactors.pdf>, diakses 2 Januari 2013).
5. Higan C. dan M. van der Burgt, *Gasification*, Elsevier, Great Britain, 2003
6. Petromindo.Com, *Indonesian Coal Book 2008/2009*, Asosiasi Pertambangan Batubara Indonesia, Indonesia, 2008.
7. Hai-Kyung Seo, dkk, *Effects of Operating Factors in The Coal Gasification Reaction*, Korean Journal of Chemical Engineering, 2011 (<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11814-011-0039-z>, diakses 31 Juli 2013).
8. Furqanul Fikri, *Optimalisasi Operasional Variable Inlet Guide Vanes (VIGV) PLTGU UBP Tanjung Priok*, Laporan Kerja Praktek, Teknik Mesin FTMD ITB, Bandung, 2006
9. The Engineering ToolBox, *Gross and Net Heating Values for Some Common Gases*, (online), (http://www.engineeringtoolbox.com/gross-net-heating-values-d_420.html, diakses 30 Januari 2013)