PENGUJIAN PENGGUNAAN SYNGAS HASIL GASIFIKASI BATUBARA SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA GAS ENGINE

Gas Engine Performance Test Using Syngas Produced by Coal Gasification Process

Ade Syafrinaldy

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung 230 Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang 15314

Email: ade.syafrinaldy@bppt.go.id

Diterima: 27 April 2015; Diperiksa: 1 Mei 2015; Revisi: 18 Mei 2015; Disetujui: 8 Juni 2015

Abstract

The purpose of this study is to find out the possibility to utilize the synthetic gas (syngas), the main product of the Coal Gasification Pilot Plant in Gresik, Jawa Timur, as fuel for a power generator. It is probably well known that syngas produced from coal gasification process can be used directly to generate electricity with the help of a gas engine power generator sets. The gasifier of the Coal Gasification Pilot Plant that has been constructed in Gresik has a diameter of 1 m with a designed coal consumption capacity of 150 kg/hour. That feed capacity is designed to give a heating value of 5300 kJ/Nm³ and syngas output of 390 m³/hour. It means the full electrical power generated by the plant will be equivalent to circa 580 kW. The power generator set has held a maximum power of 200 kWe, which is chosen with consideration of the derating of the power generator, the quality of the coal feed, the quality of the resulting syngas, syngas discharge and also the coal consumption will only be set about a third of the full capacity. The performance test results show that the coal syngas produced by the gasifier is indeed possible to be used as fuel for a power generator. The load test up to 72 kW was running very well without any excessive voltage fluctuation. After several proper cleaning processes, the syngas product can match the gas engine criteria and smoothly generate electricity. As a whole, both the coal gasification plant and the gas engine can be now referred as a Coal Gasification Power Plant.

Keywords: *syngas, gas engine, fixed-bed gasifier, two stage gasification process, cyclone, wind cooler, tar, electrostatic precipitator*

Abstrak

Kegiatan pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kemungkinan pemanfaatan syngas hasil produksi *Pilot Plant* Gasifikasi Batubara di Gresik, Jawa Timur sebagai bahan bakar generator listrik. Sebagaimana diketahui syngas hasil dari proses gasifikasi batubara dapat dimanfaatkan secara langsung untuk pembangkit listrik dengan bantuan sebuah syngas generator set. *Pilot Plant* Gasifikasi Batubara yang telah dibangun di Gresik mempunyai gasifier berdiameter 1 m dengan kapasitas konsumsi batubara 150 kg/jam. Upan sebesar itu diharapkan akan memberikan nilai kalor syngas sebesar 5300 kJ/Nm³ dan produksi syngas sebesar 390 m³/jam. Ini berarti tenaga listrik yang dihasilkan akan setara dengan 580 kW. Generator set yang digunakan dalam pengujian hanya mempunyai kapasitas daya maksimal sebesar 200 kWe. Pemilihan kapasitas generator set yang lebih kecil ini dilakukan dengan pertimbangan kemungkinan adanya derating pada power generator, kualitas umpan batubara, kualitas syngas yang dihasilkan, debit syngas dan juga pemakaian batubara hanya sepertiga dari kapasitas maksimum. Hasil yang didapat dari uji kinerja *pilot plant* menunjukkan bahwa syngas yang dihasilkan oleh gasifier sangatlah mungkin dijadikan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Pengujian pembebanan listrik hingga 72 kW dapat berjalan lancar tanpa fluktuasi voltase yang berlebihan. Syngas yang dihasilkan gasifier dapat memenuhi kriteria gas engine pada generator set, setelah melalui beberapa proses pembersihan, dan dapat dengan mudah memproduksi listrik. Dengan terpenuhinya kriteria bahan bakar gas engine ini maka secara keseluruhan *pilot plant* gasifikasi batubara dan gas engine dapatlah disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gasifikasi Batubara (PLTGB)

Kata kunci: *syngas, gas engine, fixed-bed gasifier, proses gasifikasi dua tahap, siklon, wind cooler, tar, electrostatic precipitator*

1. PENDAHULUAN

Gasifikasi Batubara merupakan satu jenis teknologi yang termasuk golongan teknologi bersih. Pembakaran batubara sepenuhnya terjadi di dalam reaktor (*gasifier*). Keseluruhan gas yang dihasilkan dijadikan satu kesatuan produk *syngas* sehingga kekhawatiran mengenai polusi udara praktis minimal (Chhoa, T., 2005 ; Habib, A.G., 2008). Dari berbagai teknologi gasifikasi yang tersedia, dipilih gasifikasi dengan teknologi *fixed bed* dengan argumentasi teknologinya yang relatif sederhana sehingga mudah dioperasikan dan diimplementasikan di *remote area* (Trapp, B., et al., 1999 ; Rezaiyan, John and Cheremisinoff, N.P., 2005).

Gasifier fixed-bed didesain dengan sistem dua tahap (*two stage*) memanfaatkan masing-masing kelebihan dua jenis desain *gasifier fixed-bed updraft dan downdraft*. Pada *stage 1 Upstage*, dihasilkan *syngas* kualitas Updraft dimana konsentrasi *syngas*nya relatif baik, suhunya antara 90-120°C namun kandungan tarnya relatif tinggi (Akudo, 2005 ; Kadam, Sausan S., 2008) berkisar antara 10–20 g/Nm³. Hal ini disebabkan karena tar baru terbakar pada suhu > 150°C. Tar merupakan produk samping yang harus dihindari sebelum *syngas* masuk ke dalam *generator set*. Aliran *stage 1* ini didesain sebesar 25% dari total aliran gas. Pada *stage 2, downstage* dimana suhu masih sangat tinggi sekitar 500-550°C, tar akan terbakar sempurna sehingga dihasilkan *syngas* kualitas *downdraft* (tidak ada kandungan tar namun mengandung partikulat dengan konsentrasi relatif tinggi (Nostrand, B., 1998 ; Theodore, Louis, 2008). Kedua aliran ini pada satu titik akan dipadukan menjadi satu aliran produk. Secara total produk *syngas* desain *two stage* diharapkan akan lebih baik daripada masing-masing produk desain *gasifier updraft* ataupun *downdraft*. Aliran *stage 1 upstage* memberikan kualitas sedangkan aliran *stage 2 downstage* memberikan kuantitas.

Namun begitu kandungan tar dan partikulat dalam *syngas* yang dihasilkan *gasifier* desain *two stage* masih terlalu tinggi, jauh diatas batasan yang diperbolehkan masuk kedalam gas engine. Ada beberapa tuntutan kualitas *syngas* yang harus dicapai dalam jarak 1 meter sebelum *syngas* masuk kedalam regulator tekanan sebuah gas engine yaitu :

- Temperatur gas < 40 C
- Tekanan gas 3 ~ 10 kPa dengan rate pressure change < 1 kPa/min
- H₂S < 200 mg/ Nm³
- NH₃ < 20 mg/ Nm³
- Kandungan tar < 50 mg/ Nm³
- Ukuran partikel < 5 µm dengan kandungan partikel < 30 mg/ Nm³
- Gas moisture < 40 g/ Nm³
- Nilai Kalor > 5.2 MJ/ Nm³

(Sumber : Shandong Lvhuang Power Equipment Co. Ltd)

Dengan informasi ini maka sebuah sistem penanganan *syngas* lebih lanjut seperti gas *cleaning* unit mutlak diperlukan.

Sistem gas *cleaning* yang menyertai dan sebagai kelengkapan proses gasifikasi terdiri dari peralatan penghilang partikulat dan tar. Pada *stage 2 downstage* dimana produk gas mempunyai kandungan partikulat yang tinggi akan ditempatkan sebuah *cyclone* jenis *high efficiency* dengan *overall efficiency* 92% sebagai penghilang Pm10 partikulat berukuran diatas 10 mikron (Madusudhan, K., et. al., 2006 ; Nostrand, Bill, 1998). Volume produk gas *stage 2* ini didesain berkisar 75% dari total gas dan bersuhu sekitar 550°C. Pada *stage 1 upstage*, produk gas yang dihasilkan bersuhu sekitar 90-120°C mempunyai kandungan tar cukup tinggi yang dibawa dari zona pirolisa, namun tidak membawa partikulat. Karena itu pembersihan produk gas *upstage* dapat langsung dengan ESP (*Electrostatic Precipitator*), tanpa dilewatkan *cyclone* (Anonim, 2007 ; Kadam Sausan S., 2008 ; Turner, J.H., et. al., 1999). Perkiraan ESP dapat menghilangkan tar hingga 98% (Khodorkovsky, Y.S., and Beltran, M.R., 2006 ; Whelan, B., et al., 2008).

Selepas *cyclone* produk gas *downstage* yang masih bersuhu 450-500°C didinginkan dengan *wind cooler*. Produk gas dari *upstage* dan *downstage* kemudian dialirkan bersamaan menuju *indirect cooler* dimana suhu gas diturunkan lagi sampai dibawah 40°C. Proses *cleaning* selanjutnya adalah penghilangan partikulat *submicron* dan *light tar* dengan alat ESP kedua yang mempunyai target *efficiency* juga sampai 98% untuk partikulat dan 98% untuk *light tar* (Chhoa, T., 2005).

Gambar 1. Penampang Gasifier Two Stage

Berikutnya *Venturi Scrubber* merupakan alat yang cukup efektif untuk menghilangkan sisa partikulat ukuran sub-mikron dan menangkap tar dengan air yang disemprotkan hingga menjadi *droplets* ukuran mikron. Dengan *Venturi Scrubber*, target *efficiency* penangkapan partikulat dan tar didesain berturut-turut sebesar 98% dan 80% (Nostrand, Bill, 1998). Proses pembersihan produk gas selanjutnya adalah menghilangkan *aerosol air* dengan *fog drop*, sebelum produk gas dialirkan

menuju proses *cleaning* terakhir yaitu proses desulfurisasi. *Venturi Scrubber* sifatnya optional, untuk memastikan kualitas *syngas* sudah sesuai dengan yang diharapkan. Produk gas kemudian dialirkan tanki *desulfurization* sebelum diumpankan ke *syngas generator set*. Keseluruhan konfigurasi pilot plant gasifikasi batubara dapat dilihat pada Gambar 1.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Proses Gasifikasi Batubara

Proses gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah yakni: pengeringan, pirolisis oksidasi/pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam setiap proses pembakaran biasa. Dalam gasifikasi keempat tahapan ini diatur sedemikian rupa hingga *syngas* yang terbentuk (H_2 , CO , CH_4) tidak ikut terbakar dan tetap dalam bentuk gas untuk dialirkan ke tempat lain. Salah satu cara untuk mengetahui proses yang berlangsung pada *gasifier* jenis ini adalah dengan mengetahui rentang temperatur masing-masing proses. Tahapan gasifikasi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- **Tahap Pengeringan**
Pada tahap pengeringan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. Proses ini terjadi pada suhu sekitar 100-250°C
- **Tahap Pirolisis**
Pada tahap pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang atau padatan karbon bahan bakar juga menggunakan panas

yang diserap dari proses oksidasi. Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada suhu 250-500 °C. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 250°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang.

- **Tahap Oksidasi**

Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Oksidasi atau pembakaran arang merupakan reaksi terpenting yang terjadi di dalam gasifier, reaksi ini terjadi pada suhu sekitar 900-1200°C. Proses ini menyediakan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang dipasok ke dalam gasifier bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar. Hasil reaksi tersebut adalah CO_2 dan H_2O yang secara berurutan direduksi ketika kontak dengan arang yang diproduksi pada pirolisis. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah :

Gambar 2. Skema Proses Gasifikasi

Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi adalah:

- **Tahap Reduksi**

Reduksi atau gasifikasi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti H_2 , CO , dan CH_4 . Reaksi berikut ini merupakan empat reaksi yang umum terlibat pada gasifikasi.

2.1.1 Proses dalam Gasifier

Pada Gasifikasi menggunakan *fixed bed*, batubara dengan ukuran yang telah disesuaikan diumpankan ke dalam *gasifier* melalui bagian atas reaktor (*hopper & lock hopper*). *Lock hopper*

digunakan untuk mengatur jumlah batubara yang masuk ke dalam *gasifier*. *Gasifier* dijaga selalu dalam kondisi penuh dengan mengatur penambahan batubara dari *lock hopper*.

Pilot Plant Gasifikasi Batubara yang telah dibangun di Gresik, *gasifiernya* didesain berdiameter 1 m dengan kapasitas konsumsi maksimal sebesar 150 kg/jam. Nilai kalor *syngas* didesain sebesar 5300 kJ/Nm³ dan produksi sebesar 390 m³/jam yang berarti tenaga listrik yang dihasilkan akan setara dengan 580 kW. *Generator set* yang diadakan mempunyai daya maksimal sebesar 200 kWe, dengan pertimbangan adanya *derating* pada *power generator*, kualitas dan kuantitas umpan batubara, kualitas *syngas* yang dihasilkan, debit *syngas* dan juga pemanfaatan kapasitas plant yang sebaiknya tidak sampai batas maksimal. Pada riset ini, batubara yang diumpankan adalah sebesar 50 kg/jam, setara dengan daya listrik sebesar 190 kW.

Komposisi *syngas* pada *stage* atas dan *stage* bawah sedikit berbeda dalam hal komposisi dan nilai kalornya. Biasanya volume gas yang diambil pada *stage* bawah lebih banyak daripada *stage* atas (3:1). Hal ini dimaksudkan untuk meminimalisasi kandungan tar yang lebih banyak dibawa oleh gas *stage* atas. Dengan demikian diharapkan penanganan terhadap kandungan tar tidak terlalu berat, yang akan berdampak pada biaya investasi peralatan gasifikasi.

Pengambilan *syngas stage* bawah dilakukan melalui pipa yang dipasang tepat di tengah-tengah *gasifier*. Pipa ini merupakan saluran pengambilan gas pada zona reduksi dengan temperature yang

Gambar 3. Pilot Plant Gasifikasi Batubara, Gresik

masih relatif tinggi, yaitu $> 500^{\circ}\text{C}$. Keuntungan gas pada *stage* bawah adalah kandungan tar yang dibawa jauh lebih rendah karena tidak melewati zona pirolisis maupun zona *drying* dan dengan temperature yang relatif masih tinggi, gas yang membawa impuritas tidak mudah terjadi kondensasi. Meskipun demikian, nilai kalor yang dihasilkan memang sedikit lebih rendah dibandingkan gas *stage* atas.

Perbedaan antara gas *stage* atas dan *stage* bawah disajikan oleh Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Perbedaan gas *stage* atas dan bawah

No.	Parameter	Stage	
		Atas	Bawah
1	Temperatur gas outlet ($^{\circ}\text{C}$)	100 – 150	550 – 600
2	Tekanan gas outlet (kPa)	1.5 – 3.0	2.0 – 4.0
3	Nilai kalor gas (kkal/Nm ³)	1650–1750	1200–1350
4	Volume gas (%)	25	75
5	Kandungan tar	Tinggi	Rendah
6	Cleaning system	ESP	Cyclone

Sumber : Zibo Yueyi Coal Gas

2.1.2 Sistem Penghilangan Partikulat

Dalam unit pembersihan/penghilangan partikulat dalam produk gas bagian bawah dipilih penggunaan *cyclone* tunggal high *efficiency* dengan proporsi standar mengacu pada Stairmand, (1951).

Penggunaan *cyclone* tunggal ini didasarkan pada laju alir gas produk keluar dari *gasifier*. Untuk *gasifier* fixed bed, flowrate gas produk relatif rendah sehingga dipilih *cyclone* tunggal yang mampu menangani gas dengan laju alir 0.5–12 m³/s. Pemisahan partikulat diinginkan seefisien mungkin, sehingga dipilih penggunaan *cyclone* jenis high *efficiency* yang secara teoritis mampu memisahkan partikulat dengan efisiensi mencapai 50-80% untuk PM₅, 80-95% untuk PM₂₀, serta 95-99% untuk Pm₄₀ (Madusudhan, K., et. al., 2006).

Pada *cyclone* jenis ini, nilai $K/D_c = 0.5$; $L/D_c = 0.22$; $m/D_c = 0.5$; $F/D_c = 0.5$; $S/D_c = 1.5$; $H/D_c = 4.0$; dan $E/D_c = 0.375$ dengan D_c adalah diameter barrel, K adalah tinggi saluran *inlet*, L adalah lebar saluran *inlet*, m adalah diameter saluran gas *outlet*, F adalah tinggi *vorteks finder*, S adalah tinggi barrel dan H adalah tinggi keseluruhan *cyclone*. *Pressure drop* pada *cyclone high efficiency* ini berkisar antara 8 – 10 in.H₂O (Wheland, B., et.al., 2008)

2.1.3 Wind Cooler

Wind cooler atau *air cooled heat exchanger* didesain dengan sederhana, karena hanya membuang panas ke udara sekitarnya. *Wind cooler* sangat efisien digunakan dalam proses ini karena tidak memerlukan biaya lebih untuk instalasi, operasional, dan *maintenance*. *Wind*

cooler ini berfungsi untuk menurunkan suhu dari *gasifier* sekitar $\pm 500^{\circ}\text{C}$ hingga suhu 350°C . Bahan yang dipilih adalah *stainless steel* karena suhu operasi yang tinggi mencapai $\pm 500^{\circ}\text{C}$, serta untuk menghindari korosi akibat kandungan gas pada *syngas*. *Wind cooler* memiliki konsumsi energi yang rendah dan tidak memerlukan ketersediaan air, sehingga biaya operasional lebih rendah.

2.1.4 Sistem Penghilangan Tar

Keberadaan air dan tar dalam arus gas masuk ESP menyebabkan pemilihan *dry* ESP menjadi kurang tepat. Untuk penanganan partikulat yang basah, berminyak dan lengket, ESP yang paling tepat digunakan adalah jenis *wet* ESP. Oleh karena itu, dalam sistem gas cleaning ini akan digunakan *wet* ESP berbentuk silinder-silinder dengan kawat bertegangan statis memanjang di pusat silinder (Anonim, 2007; Turner, J.H., et. al., 1999). Kawat-kawat tembaga ini diberikan tegangan statis sebesar 40 kV dengan bantuan sebuah trafo. Keseluruhan ESP didesain mampu menghilangkan partikulat dan tar hingga 98%, dengan suhu operasi 40-50°C.

Arus gas harus didinginkan sehingga aerosol-aerosol yang semula terdapat dalam gas akan terkondensasi dan dengan demikian akan mudah dipisahkan. Jika tidak, permukaan *collecting plate* harus dibasahi secara terus-menerus untuk mencegah terjadinya aglomerasi. Beberapa mist aerosol dapat meluncur ke bawah dengan sendirinya karena pengaruh gravitasi. *Wet* ESP dibuat dari bahan yang tahan korosi seperti *stainless steel* atau *alloy* khusus (Anonim, 2007; Turner, J.H., et. al., 1999).

Venturi scrubber efektif untuk memisahkan partikel halus dari gas keluaran untuk proses *gas cleaning*. *Venturi* merupakan *wet scrubber* yang efisien sebagai pengontrol partikel yang mana efisiensinya tergantung pada *pressure drop*. Adanya hubungan efisiensi pemisahan dan *pressure drop venturi*, untuk partikel lebih dari 1 μm , *pressure drop* masih memungkinkan. Namun untuk ukuran partikel submicron, membutuhkan *pressure drop* yang cukup besar. Sebagai contoh, untuk mencapai diameter aerodinamik *cut off* sebesar 0,5 μm , *pressure drop* harus lebih besar dari 200 cm H₂O dengan rasio perbandingan *liquid* terhadap gas 1 L/m³ (Johnstone, H., et. al., 1954).

Air diinjeksikan dengan semprotan yang lembut untuk mendinginkan *gas exhaust* ke temperatur rendah sehingga mencapai kondisi supersaturasi. Partikel submikron akan tumbuh karena nukleasi heterogen dan kondensasi menjadi ukuran partikel mikron, sehingga pemisahan yang terjadi sangat efisien. Dengan desain parameter *venturi scrubber* sebagai berikut:

- *Gas Pressure Drop* (< 80 inches H₂O)
- *Gas Velocity at "Throat"* (60 – 150 m/s)
- *Liquid/Gas Ratio* (10–30 gallons/1000 acf)
- *Inlet Particle Size* ($> 0,2$ micrometers)

Dalam uji kinerja ini, *venturi scrubber* belum digunakan karena sifatnya masih opsional.

2.1.5 Fog Drop

Fog drop berfungsi sebagai penangkap air pada akhir proses, karena dikhawatirkan *syngas* masih mengandung uap air. Proses *fog drop* ini melewati filter atau *packed* sehingga uap air akan jatuh bila mengenaiya. Air yang jatuh ditampung kemudian dikeluarkan melalui pipa *drain*. Temperatur proses sekitar $\pm 30^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan suhu air limbah yang diperbolehkan. Bahan yang digunakan untuk alat ini yaitu *stainless steel* yang anti korosif, karena air

dapat menimbulkan korosi.

2.2 Pengoperasian Pilot Plant

Ada beberapa tahapan fase proses dalam pengoperasian pilot plant gasifikasi batubara di Gresik. Pengelompokan atau penamaan fase proses ini bukanlah berdasarkan ketentuan baku, hanya berdasarkan pengalaman dan untuk memudahkan dalam pelaksanaannya. Pada umumnya pengoperasian sebuah plant terbagi dalam 3 (tiga) tahapan utama, yaitu *start up*, *steady state* dan *shut down*. Khusus untuk pilot plant gasifikasi ini proses *start up* dibagi lagi

Tabel 2. Gasification Process Resume

PHASE	SETTING	MAINTAINING					TARGETTING				Valve			
	FD Fan Pressure kPa	ID Fan		UpStage	DownStage	Adjust	Up	Down	Insulator	O2	Up Stage	Down Stage	Gasifier	End Point
		Low Pressure kPa	High Pressure kPa	Pressure kPa	Pressure kPa		Temp C	Temp C	Temp C	Content %				
Pembakaran	0,8	^	^	^	^		Heating Up	Heating Up	^	^	Close	Close	Open	Close
Pembentukan Steam	0,8	^	^	^	^		Heating Up	Heating Up	^	Lower	Close	Close	Flare	Close
Pemanasan Insulator ESP	0,8	^	^	^	^		Heating Up	Heating Up	90	Lower	Close	Close	Flare	Close
Peningkatan Temperatur Upstage	0,8	^	^	^	^		> 120	Heating Up	> 90	Lower	Close	Close	Flare	Close
Mengalirkan Syngas	1,8	< 1,8	> 1,8	< 1,8	< 1,8	% RPM FD Fan	> 120	300 - 500	> 90	Lower	Open	Open	Close	Flare
Menghidupkan ESP1 dan ESP2	1,8	< 1,8	> 1,8	< 1,8	< 1,8	% RPM FD Fan	> 120	300 - 500	> 90	< 0,6	Open	Open	Close	Flare
Steady State	1,8	< 1,8 Buang tar secara berkala	> 1,8	< 1,8	< 1,8	% RPM FD Fan	> 120	300 - 500	> 90	< 0,6	Open	Open	Close	Flare
Hot Spare - Shut Down	0,8	^	^	^	^	% RPM FD Fan					Close	Close	Open	Close

menjadi 6 tahapan, dengan tujuan memastikan gasifikasi terjadi secara optimal sehingga *syngas* yang dihasilkan sesuai yang diinginkan. Selain dipengaruhi oleh kualitas umpan batubara, proses yang terjadi dalam *gasifier* juga sangat mempengaruhi kualitas *syngas* yang dihasilkan.

Ke delapan tahapan fase proses dalam pengoperasian pilot plant batubara ini dapat dilihat pada Tabel 2 *gasification process resume*.

2.2.1 Preparasi Bahan Baku ke Gasifier

Preparasi bahan baku bertujuan untuk mempersiapkan bahan baku berupa batubara sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh *gasifier*. Dalam hal ini batubara diumpankan ke dalam reaktor harus berukuran seragam (homogen) dengan ukuran rata-rata 2.5 - 5 cm. Untuk memperoleh ukuran tersebut, maka batubara harus melewati beberapa proses preparasi bahan baku.

Batubara yang masih berukuran besar diperkecil ukurannya (*size reduction*) dengan menggunakan martil (*hammer*) sehingga

diperoleh ukuran batubara yang relatif lebih kecil. Namun, setelah *dicrushing* ukuran umpan masih belum seragam. Oleh karena itu batubara hasil *crushing* harus dilewatkan terlebih dahulu melalui *screening* (ayakan) untuk memisahkan batubara yang halus dan yang kasar.

Batubara yang kasar dilewatkan kembali melalui *screening* dengan ukuran kurang lebih 5 cm, sesuai dengan spesifikasi umpan *gasifier* yang telah ditentukan. Sedangkan batubara yang masih relatif besar diperkecil lagi ukurannya menggunakan *hammer*.

Batubara yang ukurannya telah memenuhi spesifikasi *gasifier* kemudian ditransportasikan menggunakan menggunakan *bucket elevator* untuk diumpankan ke dalam *gasifier* melalui *hopper*. Jumlah umpan yang dimasukkan ke dalam *gasifier* disesuaikan dengan keluaran *ash* di bagian bawah. Pengumpanan dilakukan secara periodik menggunakan sistem pengumpanan *lock-open* dari bagian *lock hopper*. Dimana membuka dan menutupnya *lock hopper* ini dijalankan secara manual.

2.2.2 Proses Pembakaran

Pada proses ini dilakukan pembakaran batubara dengan bantuan kayu bakar/kokas dan sedikit bahan bakar solar ditambah abu sebagai penahan panas awal. Tekanan *blower* (FD-Fan, Forced Draft Fan) disetting pada 0.8 kPa dan dipertahankan sampai batubara terbakar secara merata. Semua katup ditutup kecuali katup flare pada bagian atas *gasifier*.

2.2.3 Proses Pembentukan Steam

Setelah terjadi pembakaran yang merata, *manhole* ditutup dan dimulai proses pembentukan steam dari air yang berada dalam *jacket*. Setelah 1-3 jam *syngas* akan terbentuk dan *syngas* dibakar melalui *flare*.

2.2.4 Proses Pemanasan Insulator ESP

Steam yang terbentuk dialirkan ke ESP1 dan ESP2 untuk memanaskan insulatornya. Insulator pada kedua ESP harus menunjukkan temperatur minimal 90° C, sebelum bisa dinyalakan. Pemanasan awal ini dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan pada elemen apabila ESP dinyalakan langsung secara mendadak.

2.2.5 Proses Peningkatan Temperatur Upstage

Temperatur *syngas* pada saluran *upstage* juga harus mencapai temperatur 120° C. Ini untuk meminimalisir kadar tar yang ada.

2.2.6 Proses Mengalirkan Syngas

Apabila temperatur *upstage* sudah lebih dari 120° C dan insulator minimal 90° C, *syngas* sudah bisa dialirkan ke *cleaning system*. Kedua ESP masih belum dinyalakan. FD-Fan ditambah tekanannya menjadi 1.8 kPa, ID-Fan (*Induced Draft Fan*) juga dinyalakan dengan tekanan diatas 1.8 kPa naik secara bertahap sampai 4 – 5 kPa. Katup *flare Gasifier* ditutup, katup *output upstage* dan *downstage* dibuka serta katup *end point* juga dibuka agar *syngas* bisa di *flare*. Kondisi dibiarkan seperti untuk beberapa lama.

2.2.7 Proses Menghidupkan ESP1 dan ESP2

Sebelum dapat menghidupkan ESP1 ataupun ESP2, harus dipastikan kadar oksigen *syngas* dari *output upstage gasifier* kurang dari 0.6%. Disini adalah titik kritis pengoperasian *pilot plant*. Untuk mengukur kadar oksigen dari *syngas* digunakan Orsat Apparat. Penggunaan sensor oksigen untuk keperluan ini tidak direkomendasikan karena *syngas* banyak mengandung tar dan partikulat sehingga sensor menjadi sangat kotor dan berkurang sensitifitasnya.

2.2.8 Proses Steady State

Setelah kedua ESP dinyalakan *Pilot Plant* bisa dinyatakan dalam keadaan *steady state*. Akan tetapi *gasifier* harus tetap dijaga pasokan umpan batubaranya, tekanan *steam* drum, tekanan ID-Fan, FD-Fan, dan semua temperatur harus dalam

pengawasan. FD-Fan disetting pada nilai 1,8 kPa untuk mendapatkan *output syngas* sebesar 300-400 Nm³/jam. Secara regular dilakukan pembuangan tar yang terkumpul pada penampung dibawah ID Fan.

2.2.9 Proses Hot-Spare Shut Down

Proses *hot-spare* adalah mengembalikan keadaan pada kondisi proses No. ii) sebelum di *shut down*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti pada umumnya proses pengujian dilakukan, data-data beberapa parameter dicatat selama pilot plant beroperasi. Pada kesempatan ini dilakukan pengambilan data disesuaikan dengan peralatan ukur yang ada. Beberapa parameter lain terpaksa tidak diambil atau diuji karena kendala instrument atau dana untuk menyewa peralatannya seperti debit *syngas* yang diproduksi serta pembebanan power generator.

3.1 Kadar Oksigen dalam Syngas

Dalam *syngas* hasil stage 1 dari *gasifier* dengan suhu 90-120°C masih dimungkinkan adanya keberadaan oksigen. *Electrostatic Precipitator* (ESP) sebagai penangkap tar tidak mentolerir adanya oksigen yang terlalu banyak dalam *syngas* dikarenakan penggunaan tegangan *static* yang sangat tinggi (40 kV). Apabila tetap dipaksa maka ada kemungkinan timbulnya ledakan dalam ESP. Untuk itu sebelum ESP dapat dioperasikan harus dipastikan kadar oksigen dalam *syngas* hasil stage 1 memenuhi kriteria ESP yaitu < 0.6% (Shandong Lvhuan Power Equipment Co. Ltd). Pengukuran kadar oksigen ini harus dilakukan secara periodik untuk memastikan kadarnya aman.

Salah satu hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan orsat apparaat adalah seperti pada Tabel 3. Kadar oksigen seperti ini menunjukkan bahwa proses gasifikasi dalam *gasifier* telah berjalan baik dan *syngas* dapat dialirkan menuju ESP.

Tabel 3. Kadar O₂ melalui ORSAT Analysis

No	Waktu	Kadar Oksigen
	(menit)	(%)
1	5	0.2
2	10	0.3
3	15	0.3
4	20	0.1
5	25	0.2
6	30	0.2

3.2 Kadar Tar dalam Syngas

Kadar tar dalam *syngas* diukur selain untuk mengetahui kinerja *precipitator*, juga untuk mengetahui apakah *syngas* sudah memenuhi kriteria *power generator* (< 50 mg/Nm³). Dari

beberapa pengukuran secara kasar diperoleh kesimpulan bahwa kriteria itu dapat dicapai.

Tabel 4. Tar Content

Gasifier (mg/Nm ³)	ESP1 (mg/Nm ³)	Performance ESP1	ESP2 (mg/Nm ³)	Performance ESP2
a	b	(100-b/a)	c	(100-c/b)
15.59	190	98%	17	91%
14.15	160	98%	13	92%
17.04	170	99%	13	94

3.3 Komposisi Syngas

Komposisi *syngas* perlu dianalisa untuk mengetahui kualitas reaksi yang terjadi dalam *gasifier*. Salah satu indikasi yang dapat menunjukkan hal ini adalah rasio perbandingan antara gas H₂ dan CO yang harus berkisar pada nilai 0.5 (Trapp, B., *et al*, 1999). Analisa yang dilakukan menggunakan *portable gas analyzer* sudah menunjukkan hal ini. Grafik menunjukan nilai perbandingan H₂:CO = 0,57-0,65.

Komposisi *syngas* sebagian besar hingga 50% didominasi oleh Nitrogen yang merupakan gas *inert*. Hal ini disebabkan karena penggunaan udara sebagai media. Nitrogen tidak dikutsertakan dalam grafik.

Gambar 4. Grafik Konsentrasi Gas

Gambar 5. Grafik Rasio H2/CO

3.4 Nilai Kalor Syngas

Nilai kalor *syngas* adalah parameter yang tak kalah pentingnya. Parameter inilah yang menunjukkan bahwa apakah kualitas gas yang diproduksi dapat menggerakkan power generator dan dapat menjalankan beban sampai berapa besar.

Selama beberapa kali pengujian, hasil produksi *syngas* pilot plant menunjukan angka sampai 1.350 kcal/Nm³ atau sama dengan 5,67 MJ/Nm³. Pengukuran nilai kalori ini dilakukan menggunakan gas analyzer. Kriteria power generator yang mensyaratkan nilai kalor sebesar 5,2 MJ/Nm³ sudah terlampaui. Dengan kapasitas maksimal produksi *syngas* sampai sebesar 300-480 m³/jam maka bisa didapat daya sebesar 470 – 750 kW.

Syngas yang dihasilkan memang masih termasuk dalam kategori gas berkalori rendah (*Low BTU gas*) yang mempunyai nilai kalor < 7,45 MJ/m³ (*Princeton Energy Resources International, LLC & TFB Consulting*) karena proses gasifikasinya menggunakan *gasifying agent* udara yang mengandung nitrogen (*gas inert*) dalam jumlah yang sangat besar, hampir 80%. Apabila menggunakan pereaksi *superheated steam* atau oksigen maka dipastikan kualitas yang dihasilkan akan menjadi jauh lebih baik karena kalori per satuan volume menjadi lebih tinggi tanpa nitrogen.

Gambar 6. Grafik Fluktuasi Nilai Kalor Syngas

3.5 Uji Kinerja Power Generator

Pengoperasian gas engine dilakukan dengan umpan *syngas* hasil gasifikasi batubara. Kualitas dari gas yang dihasilkan sangat mempengaruhi performa dari gas *engine*, sehingga perlu kemurnian dan kualitas (nilai kalor) yang cukup baik. Listrik yang dihasilkan oleh gas *engine* tersebut digunakan untuk menyalakan 2 kompresor 15 kW dan 7 peralatan las masing-masing 6 kW.

Karena adanya kendala teknis pembebanan, jumlah beban yang bisa didapatkan hanya sampai sekitar 72 kW atau 36% dari daya maksimal genset. Namun secara garisbesar dapat diambil kesimpulan bahwa power generator dapat berjalan dengan baik selama waktu pengujian pembebanan kurang lebih 5 jam.

Tabel 5. Uji Kinerja *Power Generator*.

Waktu (jam)	Beban (kW)	Frekuensi (Hz)	Engine (RPM)	Daya (%)
0	15	50	1500	7,5
0,5	30	50	1500	15
1	36	50	1500	18
1,5	42	50	1500	21
2	48	50	1500	24
2,5	54	50	1500	27
3	60	50	1500	30
3,5	66	50	1500	33
4	72	50	1500	36
5	72	50	1500	36

Gambar 7. *Syngas Engine Power Generator*

Gambar 8. Kompresor

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian pilot plant gasifikasi batubara bahwa Pilot Plant Pembangkit Listrik Tenaga

Gasifikasi Batubara (PLTGB) 200 kWe di Gresik secara umum dapat beroperasi dengan baik dan stabil ditandai dari data-data pada panel control yang menunjukkan kestabilan selama 5 hari *running*.

Analisa kadar O_2 dalam *syngas* yang dihasilkan *gasifier* berada dibawah batas konsentrasi 0.6 % sehingga ESP dapat dioperasikan secara normal. Hal ini juga berarti proses gasifikasi yang terjadi dalam *gasifier* berjalan dengan sangat baik.

Rasio H_2/CO yang dihasilkan masih dibawah 1, mendekati nilai ideal 0,5 (Trapp, B., *et al*, 1999) dimana nilai kalor maksimal dapat tercapai.

Electrostatic Precipitator (ESP) yang digunakan sebagai penangkap tar dalam unit *cleaning* yang diterapkan dalam pilot plant Gasifikasi Batubara di Gresik, menunjukkan performa yang sangat baik. Efisiensi kinerja ESP-1 dapat mencapai 99%, sedangkan efisiensi kinerja ESP-2 mencapai 94%.

Kadar tar yang dikandung oleh *syngas* dapat direduksi secara baik oleh *electrostatic precipitator* sehingga memenuhi persyaratan gas *engine*. Dengan telah dipenuhinya persyaratan kadar tar maka keberadaan *Venturi Scrubber* menjadi tidak relevan lagi. Atau *Venturi Scrubber* digunakan sebagai *redundant* pada saat ESP menjalani proses pemeliharaan.

Nilai kalori dari gas yang dihasilkan rata-rata sudah lebih dari 1350 Kcal/m³ atau 5,67 MJ/m³, lebih baik dari criteria yang ditentukan oleh gas *engine*.

Gas *engine* dapat dioperasikan dengan baik dan stabil dengan rpm stabil pada nilai 1500 dan frekuensi 50 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- Akudo, (2008). *Quantification Of Tars And Particulates From A Pilot Scale, Downdraft Biomass Gasifier*, Federal University of Technology Minna, Nigeria
- Anonim, (2007). *EPA Air Pollution Technology Fact Sheet, Wet Electrostatic Precipitator (ESP) –Wire-Pipe Type*.
- Chhoa, T., (2005). *Shell Gasification Business in Action*, Gasification Technologies Conference, San Francisco.
- Habib A.G., (2008). *Gasifikasi Batubara dengan Unggun Terfluidakan*
- Kadam, Sausan S., (2008). *An Experimental Study to Improve Tar Removal in Biomass Gasification*, University of Technology Brno, Czech Republic
- Johnstone, H., *et al.*, (1954). *Ind. Chem. Eng.* 46: 1601
- Khodorkovsky, Y.S., and Beltran, M.R., (2006). *Universal Relationship Between Collection Efficiency And The Corona Power Of The Electrostatic Precipitator*, Beltran, Inc., U.S.A.
- Madhusudhan, K, *et.al.*, (2006). *New Cyclone Separator-based Prefilter Design for Internal Combustion Engine Applications*, Journal of Mechanical Engineering Science, Volume 220, Number 9, p. 1353-1362.

Nostrand, Bill, (1998). *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*. SERI. Colorado. SERI/SP-271-3022.

Rezaian John and Cheremisinoff, N.P., (2005). *Gasification Technologies, A Primer for Engineers and Scientists*. Taylor and Francis Group.

Theodore, Louis, (2008). *Air Pollution Control Equipment Calculations*. John Wiley & Sons, Inc.

Trapp, B., et al, (1999). *Coal Gasification*. When Does It Make Sense?, Power-Gen International, Las Vegas.

Turner, J.H, et.al, (1999). *Electrostatic Precipitator*. U.S. Environmental Protection Agency.

Wheland, B., et.al., (2008). *The Effect of Blending Coals on Electrostatic Precipitator Performance*. Department of Chemical Engineering, University of Queensland, Australia