

# PEMANFAATAN GASIFIKASI BATUBARA UNTUK PLTD SISTEM *DUAL FUEL*

SLAMET SUPRAPTO, DIDI HERYADI dan NURHADI

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

## SARI

Dalam rangka peningkatan dan diversifikasi pemanfaatan batubara telah dibangun *pilot plant* pemanfaatan gasifikasi batubara untuk pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) sistem *dual fuel* di Sentra Teknologi Pemanfaatan Batubara di Palimanan, Cirebon. *Pilot plant* tersebut menggunakan unit gasifikasi batubara kapasitas maksimum 2,88 MMBtu/jam dan mesin kecepatan tinggi kapasitas 250 kVA. Batubara yang digunakan adalah jenis/peringkat subbituminus dari Kalimantan Selatan yang mempunyai nilai kalor 5.501 kal/g (adb). Gas batubara dimasukkan bersama-sama udara ke dalam mesin diesel dengan sistem venturi. Operasi mesin diesel dilakukan dengan bahan bakar 100% solar (*high speed diesel*) dan kemudian dengan bahan bakar campuran solar dan gas batubara. Untuk mengevaluasi kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar sistem *dual fuel* maka dilakukan uji coba operasi kontinu selama 3 x 10 jam (5 jam siang dan 5 jam malam). Selama operasi kontinu dilakukan pengamatan terhadap suhu mesin (air pendingin dan pelumas), suhu gas buang dan saringan udara. Setelah percobaan kemudian dilakukan pengamatan terhadap ruang bakar mesin dan pengujian terhadap kekentalan dan *total base number* minyak pelumas. Hasil percobaan menunjukkan bahwa mesin diesel dengan bahan bakar sistem *dual fuel* mempunyai kinerja yang cukup baik, yakni tidak terdapat gangguan endapan ter dalam ruang bakar serta tidak menyebabkan kenaikan suhu pada air dan pelumas mesin. Viskositas pelumas mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran solar dan gas batubara relatif sama dan tidak banyak perubahan dibanding sebelum operasi. Terdapat penghematan pemakaian solar pada sistem *dual fuel* rata-rata sebesar 62,48% dan penurunan biaya produksi listrik rata-rata sebesar Rp1.119,-/kWh. Secara keseluruhan, kualitas udara pada pemanfaatan gasifikasi batubara untuk PLTD masih memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan hidup.

Kata Kunci: gasifikasi batubara, mesin diesel, *dual fuel*, kualitas udara

## ABSTRACT

*As to increasing and diversification of coal utilization, pilot plant of utilization of coal gasification for diesel engine power generation using dual fuel system has been constructed in Palimanan Coal Technology Centre, Cirebon. The pilot plant uses a coal gasification unit of 2,88 MMBtu/hr maximum capacity and high speed diesel engine of 250 kVA capacity. The coal used was subbituminous coal from South Kalimantan, which has calorific value of 5,501 cal/g. The coal gas was injected together with air into diesel engine using ventury system. The operation of diesel engine was started by using 100% of high speed diesel (HSD) and followed by dual fuel system. To evaluate the performance of diesel engine using dual fuel system, continual operation of 3 x 10 hours (5 hours at the day and 5 hours at night) was carried out. During continual operation, monitoring of engine temperature (cooling water and oil) was carried out. After the continual operation, evaluation of combustion chamber of diesel engine, viscosity and total base number of oil were also carried out. The results show that diesel engine using dual fuel system has good performance, there is no tar deposit in the combustion chamber and no increasing of cooling water and oil temperatures. Oil viscosity of diesel engine using dual fuel system is relatively the same as the original oil viscosity. On the other side, the cost of electricity production can also be reduced at Rp 1,119/kWh in average. In general, the air and emission quality of utilization of coal gasification for diesel engine using dual fuel system still perform the environmental regulation.*

*Keywords: coal gasification, diesel engine, dual fuel, air quality*

## PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber energi paling potensial yang diharapkan dapat menggantikan peran minyak bumi sebagai bahan bakar maupun bahan baku industri kimia. Pada saat ini, Indonesia mempunyai sumber daya batubara yang cukup besar mencapai 104,76 miliar ton (www.esdm.go.id., 2009) tersebar terutama di Kalimantan dan Sumatera. Sedangkan cadangan minyak bumi kita semakin menipis dan produksinya juga menurun sehingga Indonesia telah menjadi net importer minyak dan bahkan telah keluar dari organisasi negara-negara produsen dan eksportir minyak OPEC. Oleh karena itu Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan energi untuk mengurangi penggunaan minyak dan mendorong penggunaan batubara. Sebagai sumber energi alternatif, batubara dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar langsung (padat) atau dikonversikan menjadi bahan bakar gas maupun bahan bakar cair.

Teknologi gasifikasi batubara (konversi batubara menjadi gas) kini sudah berkembang dengan baik dan dapat memproduksi gas yang dapat memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal (*internal combustion engine*) seperti motor bakar atau mesin diesel. Penggunaan gas alam maupun gas hasil gasifikasi biomassa untuk mesin pembakaran internal sudah sejak lama diterapkan. Gas tersebut digunakan bersamaan dengan solar (*dual fuel*) untuk menghasilkan proses pembakaran di ruang bakar.

Pada saat ini bahan bakar minyak merupakan sumber energi utama pembangkit listrik (tenaga uap maupun tenaga diesel) di Indonesia. Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) milik PT PLN (Persero) saja kapasitasnya  $\pm$  2800 MW dan sebagai besar menggunakan bahan bakar minyak (Tobing, 2008). Selain PT PLN, masih banyak perusahaan lain milik Pemerintah maupun swasta yang menggunakan mesin diesel untuk membangkitkan listrik untuk keperluannya sendiri. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, maka perlu diupayakan pemanfaatan jenis bahan bakar lain seperti gas batubara.

Sehubungan dengan hal tersebut, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara bekerjasama dengan PT PLN (Persero) dan PT Coal Gas Indonesia telah membangun *pilot plant* pemanfaatan gasifikasi batubara untuk PLTD sistem *dual fuel* di Sentra Teknologi Pemanfaatan Batubara tekMIRA, di Palimanan, Cirebon yang sekaligus digunakan untuk kegiatan ujicoba. Ujicoba pemanfaatan gasifikasi

batubara untuk PLTD sudah dilakukan dan dapat berjalan dengan baik, yakni gas batubara dapat menjalankan mesin diesel sistem *dual fuel*. Namun demikian, perlu dilakukan evaluasi terhadap kinerja mesin diesel mengingat karakteristik gas batubara sangat berbeda dengan solar, khususnya pada proses penyalan yang memerlukan perlakuan khusus. Dengan menggunakan solar, mesin diesel dapat memungkinkan solar menyala dengan sendirinya karena proses kompresi tekanan tinggi yang mengakibatkan kenaikan suhu udara dalam ruang bakar. Bahan bakar gas termasuk gas batubara tidak memungkinkan untuk terjadinya proses penyalan sendiri. Dengan sistem *dual fuel* maka nyala api yang dihasilkan oleh pembakaran solar dapat digunakan untuk menyalakan gas batubara. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian tentang pengaruh penggunaan gasifikasi batubara terhadap kinerja mesin diesel, penghematan bahan bakar dan kualitas udara.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gasifikasi Batubara

Pembuatan gas dari batubara telah dilakukan sejak abad 17, tetapi baru diaplikasikan terutama untuk pembuatan lampu-lampu penerangan di Inggris dan Perancis pada akhir abad 18. Pengembangan pabrik skala komersial untuk memproduksi bahan bakar gas melalui proses karbonisasi menggunakan bahan baku batubara mengokas (*coking coal*) dimulai di Inggris tahun 1812 dan di Amerika Serikat pada tahun 1816. Proses ini kemudian digunakan untuk memproduksi gas kota seperti yang dioperasikan di banyak negara.

Indonesia juga pernah mempunyai pabrik gas di beberapa kota besar yang dibangun pada zaman Belanda. Pabrik gas negara pada saat itu mempunyai 8 pabrik yakni di Medan, Jakarta, Bogor, Bandung, Cirebon, Semarang, Surabaya dan Makassar. Pabrik gas Surabaya didirikan tahun 1877, Semarang tahun 1897 dan Bandung 1917. Karena kelangkaan batubara, tahun 1957 pabrik gas Surabaya beralih ke minyak diesel dengan proses *catalytic cracking*, kemudian diikuti pabrik gas Semarang (1969) dan pabrik gas Bandung sampai 1975. Pabrik gas sekarang ditutup dan telah beralih menggunakan gas alam (Francis, 1965; Suprpto, 1995).

Proses gasifikasi batubara saat ini telah berkembang dan tidak hanya tergantung batubara jenis mengkokas tetapi dapat menggunakan berbagai jenis batubara. Batubara direaksikan dengan pereaksi udara, campuran udara/uap air, campuran oksigen/uap air

atau hidrogen dalam sebuah reaktor. Apabila proses gasifikasi dilakukan langsung dalam tanah (in-situ), dalam lapisan batubara, maka prosesnya disebut gasifikasi batubara dalam tanah (*underground coal gasification*). Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi batubara dalam tanah berbeda dengan CBM (*Coal Bed Methane*) yang memang sudah terdapat dalam lapisan batubara karena terperangkap selama proses pembatubaraan (*coalification*).

Jenis-jenis teknologi gasifikasi batubara umumnya didasarkan atas bagaimana kontak antara batubara dengan bahan pereaksi. Dalam hal ini, sistem kontak tersebut akan menentukan desain reaktor. Teknologi gasifikasi batubara yang sudah komersial umumnya menggunakan tiga sistem yakni unggun-tetap (*fixed-bed*), unggun-terfluidakan (*fluidized-bed*) dan *entrained bed*. Produk gas yang dihasilkan proses gasifikasi batubara tergantung pereaksi yang digunakan. Proses gasifikasi menggunakan pereaksi udara menghasilkan gas yang disebut *producer gas* dengan komposisi terdiri atas gas mampu bakar (*combustible gas*) CO dan H<sub>2</sub> dan sedikit gas hidrokarbon seperti CH<sub>4</sub> serta pengotor N<sub>2</sub> mencapai sekitar 50%. Apabila digunakan pereaksi campuran udara/uap air maka dihasilkan gas yang disebut *water gas* dengan komposisi mirip gas-penghasil. Kedua produk gas tersebut termasuk gas kalori rendah (*low calorie gas*) dengan nilai kalor kurang dari 200 Btu/ft<sup>3</sup> (< 1780 kkal/m<sup>3</sup>), tetapi komposisi dan nilai kalor *water gas* lebih baik.

Proses gasifikasi menggunakan pereaksi campuran oksigen/uap air menghasilkan produk gas yang disebut gas *Lurgi* dengan komponen utama berupa karbonmoksida dan hidrogen dan sedikit gas-gas hidrokarbon, serta pengotor. Gas *Lurgi* merupakan gas kalori menengah (*medium calorie gas*) dengan nilai kalor antara 200-400 Btu/ft<sup>3</sup>. Apabila gas *Lurgi* tersebut dimurnikan maka dihasilkan gas sintesis (*synthesis gas, syngas*) dengan komponen utama karbonmonoksida dan hidrogen. Gas sintesis dapat diproses lebih lanjut melalui proses metanasi untuk mendapatkan gas SNG (*Synthetic Natural Gas, Substitute Natural Gas*) dengan komponen utama metana. Proses gasifikasi menggunakan pereaksi hidrogen juga dapat menghasilkan SNG yang mempunyai nilai kalor sekitar 1000 Btu/ft<sup>3</sup> dan termasuk gas kalori tinggi (*high calorie gas*) (Elliot, 1981; Francis, 1965; Nowacki, 1981; Ward, 1984).

Teknologi gasifikasi batubara telah terbukti layak secara ekonomi mengingat banyaknya pabrik (*plant*) komersial yang telah beroperasi di banyak negara yakni mencapai 45 *plant* dengan jumlah *gasifier*

sebanyak 212 unit kapasitas (rata-rata) 500 MMBtu/jam. *Plant-plant* tersebut umumnya memproduksi gas kalori menengah untuk bahan bakar maupun memproduksi gas sintesis yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia, pupuk, bahan bakar minyak dan juga gas alam sintetik. Sebagian besar *plant* gasifikasi komersial terdapat di China dengan menggunakan teknologi dari Amerika Serikat dan Belanda (*Shell*). Namun, untuk kapasitas kecil (< 25 MMBtu/jam) China mengembangkan teknologi sendiri dengan modifikasi dari teknologi *Lurgi* (Anonim, 2007).

### Penggunaan Gas Untuk Mesin Diesel

Penggunaan gas hasil gasifikasi biomassa untuk mesin pembakaran internal guna menghasilkan listrik dan juga untuk keperluan transportasi, telah dimulai sejak awal abad 20. Penggunaan tersebut mencapai puncaknya selama masa Perang Dunia II terutama dilakukan oleh Jerman untuk menjalankan kendaraan-kendaraan perangnya. Setelah masa Perang Dunia II sampai dengan tahun 1970-an, penggunaan gas untuk mesin internal mulai ditinggalkan karena adanya minyak bumi dan gas alam yang harganya relatif murah. Namun akibat krisis energi di tahun 1970-an, banyak negara mengaktifkan kembali proses gasifikasi untuk mesin pembakaran internal. Pada saat ini, daerah-daerah terpencil di banyak negara misalnya Filipina, Selandia Baru, Afrika, Eropa maupun Amerika Serikat menggunakan kendaraan bus maupun traktor yang dilengkapi unit gasifikasi biomassa (Anonim, 1986; Turare).

Mesin-mesin pembakaran internal normalnya dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin atau solar. Pada mesin bensin, campuran bensin/udara dinyalakan dalam ruang bakar mesin dengan menggunakan busi sebagai pematik. Dengan demikian, mesin bensin dapat dioperasikan menggunakan gas tanpa injeksi bensin. Sedangkan pada mesin diesel, penyalaan campuran udara/solar dilakukan dengan sistem kompresi. Mesin diesel tidak dapat dioperasikan dengan 100% *producer gas* karena suhu dan tekanan tidak dapat menyalakan campuran udara/gas. Selama injeksi campuran udara/*producer gas*, diperlukan injeksi sedikit solar ke dalam ruang bakar sebagai pematik (www.Amazon.com., 2006).

### Perkembangan Baku Mutu Kualitas Udara

Dengan semakin meningkatnya perekonomian dan kesejahteraan, kesadaran masyarakat terhadap kelestarian lingkungan juga semakin meningkat. Hal ini ditandai dengan semakin ketatnya peraturan dan

baku mutu lingkungan. Apalagi penggunaan batubara yang dianggap sebagai bahan bakar yang “tidak bersih” dibanding bahan bakar minyak dan gas, kini semakin meningkat. Baku mutu kualitas udara untuk pembangkit-pembangkit listrik berbahan bakar batubara mulai diperketat. Di samping itu, parameter-parameter polutan juga diperluas tidak hanya SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan partikulat, tetapi termasuk merkuri dan CO<sub>2</sub> (Anonim, 2008).

Di Indonesia, peraturan baku mutu kualitas udara masih untuk parameter-parameter sulfurdioksida, nitrogendioksida dan partikulat, walaupun sudah dikeluarkan baku mutu yang lebih ketat. Baku mutu untuk pembangkit listrik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku mutu udara emisi pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara

Parameter	Berlaku Efektif tahun 1995	Berlaku Efektif Tahun 2000
Total partikulat, mg/Nm <sup>3</sup> maks.	300	150
SO <sub>2</sub> , mg/Nm <sup>3</sup> maks.	1.500	750
NO <sub>2</sub> , mg/Nm <sup>3</sup> maks.	1.700	850

Sumber: Kantor Menteri Lingkungan Hidup, 2007

## METODOLOGI

### Peralatan Yang Digunakan

#### Unit gasifikasi batubara

Unit gasifikasi yang digunakan terdiri atas reaktor unggun tetap dan sistem pemurnian gas. Reaktor gasifikasi menggunakan teknologi unggun-terap sistem *up-draught* dengan diameter 1 m dan kapasitas 150-200 kg batubara/jam atau setara dengan ± 2,88 MMBtu gas/jam. Pereaksi yang digunakan adalah campuran udara/uap air dan produk gas-nya disebut gas dingin (*cold gas*). Reaktor ini mempunyai mantel (*water jacket*) yang berfungsi sebagai *isolator* panas dan penghasil uap air. Udara untuk proses gasifikasi (udara primer) diperoleh dari *blower*, sedangkan uap air dihasilkan dari mantel pendingin reaktor dan *steam drum* yang diletakkan di bagian atas reaktor.

Sistem pemurnian gas terdiri atas *scrubber* I yang berfungsi sebagai pendingin gas (*cooling tower*), penangkap ter (*tar electrostatic precipitator*), *scrubber* II yang berfungsi sebagai pembersih gas (*washing tower*), tangki pemisah uap (*fog drop*), *blower*, kolam penampung ter (*tar pond*), kolam air pendingin dan panel pengontrol.

### Mesin diesel

Mesin diesel yang digunakan adalah tipe kecepatan tinggi buatan Mercy tahun 1985 dengan kapasitas 250 kVA. Modifikasi dilakukan pada sistem pemasukan udara sehingga dapat mengakomodasi pemasukan gas melalui *mixer* dengan baik. Disamping itu, ditambahkan juga alat pengatur laju alir (*katup pengontrol*) gas, saringan gas, pengambil contoh gas dan indikator suhu. Indikator suhu tersebut berfungsi untuk memantau suhu gas buang, suhu air pendingin dan suhu pelumas.

### Alat penganalisis gas

#### Kromatografi gas (*gas chromatografi, GC*)

Unit khromatografi gas yang dipakai menggunakan *thermal conductivity detector* (TCD). Sedangkan kolom yang digunakan untuk analisis gas batubara adalah 2 macam yakni porapak Q dan *molsieve*. Kromatografi gas ini digunakan untuk mengetahui komposisi produk gas yang terdiri atas H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> dan gas hidrokarbon lainnya.

#### Penganalisis ter dan partikulat

Alat ini berfungsi untuk menganalisis jumlah ter dan partikulat yang terkandung dalam gas sebelum gas tersebut masuk ke dalam mesin diesel (Nussbanmer, 1998).

### Bahan yang Digunakan

#### Batubara

Batubara yang digunakan adalah batubara Kalimantan Selatan yang diperoleh dari perusahaan pemasok batubara di sekitar Cirebon. Hasil analisis contoh batubara tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil analisis contoh batubara yang digunakan**

Komponen	Kadar
Air total, % ar	22,66
Air lembap, % adb	20,35
Abu, %adb	1,24
Zat terbang, %adb	39,30
Karbon padat, %adb	39,11
Nilai kalor, kal/g adb	5.501
Belerang, % adb	0,16

ar = *as received* - contoh asal; adb = *air dried basis* - kering udara

Batubara ini mempunyai nilai kalor menengah yakni 5.501 kal/g dan termasuk cukup bersih dengan kadar abu dan kadar belerang yang rendah. Contoh batubara tersebut diayak sehingga diperoleh ukuran bongkah > 1 cm sesuai dengan persyaratan umpan reaktor gasifikasi batubara sistem unggun tetap.

#### Bahan bakar minyak

Bahan bakar minyak yang digunakan adalah minyak solar (HSD, *High Speed Diesel*) yang diperoleh di pasaran. Persediaan minyak untuk percobaan ini disimpan dalam tangki minyak. Untuk mengetahui laju alir pemakaian minyak ke dalam mesin diesel digunakan alat ukur khusus.

#### Bahan kimia

Bahan kimia yang digunakan adalah bahan untuk analisis batubara dan bahan untuk analisis kadar ter dan partikulat dalam gas batubara.

#### Pelumas

Pelumas atau oli yang digunakan untuk mesin diesel adalah pelumas impor.

#### Prosedur Percobaan

Percobaan diawali dengan proses gasifikasi batubara yakni dengan mengumpulkan batubara  $\pm 150$  kg/jam. Seluruh produk gas yang dihasilkan dialirkan ke pembakar (*burner*) gas untuk penyalaan (*flaring*). Setelah operasi gasifikasi berjalan lancar (*steady*) kemudian dilakukan pengambilan contoh gas untuk analisis komposisi dan pengotor. Jika kadar pengotor gas sudah memenuhi syarat, yakni kadar ter < 500 mg/m<sup>3</sup> dan kadar partikulat < 50 mg/m<sup>3</sup>, maka gas siap untuk mengoperasikan mesin diesel (Anonim,

1986).

Percobaan kemudian dilanjutkan dengan uji pemetaan mesin diesel. Pengoperasian mesin diesel diawali dengan menggunakan bahan bakar 100 % solar pada berbagai beban (daya), yakni 130, 140 dan 150 kW untuk melihat pemakaian solar. Percobaan kemudian dilanjutkan dengan menggunakan bahan bakar campuran yakni dengan beban awal 30 kW. Mesin Diesel dijalankan pada masing-masing beban awal tersebut dengan bahan bakar 100% solar, kemudian gas batubara dimasukkan sampai beban mencapai maksimum. Beban maksimum divariasikan pada 130, 140 dan 150 kW.

Setelah uji pemetaan mesin, kemudian dilakukan operasi kontinyu (*endurance test*) pengoperasian pemanfaatan gas batubara untuk mesin diesel. Pelaksanaan operasi kontinyu (operasi jangka panjang) ditetapkan selama 3 x 10 jam ( masing-masing 5 jam siang dan 5 jam malam). Selama operasi kontinyu, beberapa parameter dicatat setiap 30 menit seperti pemakaian bahan bakar, suhu (gas buang, minyak pelumas dan air pendingin), tekanan dan suhu udara luar.

Kinerja mesin diesel yang dievaluasi sehubungan dengan penggunaan campuran gas dan solar sistem *dual fuel* adalah meliputi:

- pembentukan kerak di ruang bakar, akibat kandungan ter;
- penyumbatan saringan udara dan saringan gas;
- suhu pelumas, air dan cerobong gas buang; dan
- kekentalan (*viscosity*) dan *total base number* pelumas.

#### Perhitungan dan Asumsi-Asumsi yang Dipakai

Untuk menghitung penghematan biaya produksi listrik mesin diesel menggunakan sistem *dual fuel*, maka digunakan cara perhitungan dan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Kebutuhan energi untuk membangkitkan energi listrik dari mesin diesel dihitung pada masing-masing daya dengan menggunakan jumlah (liter) solar yang dipakai dikalikan dengan nilai kalor solar rata-rata ( $\pm 8.000$  kkal/l).
- Jumlah gas yang dipakai dihitung dari total energi pada masing-masing daya dikurangi penggunaan solar pada sistem *dual fuel*.

- Biaya produksi listrik dihitung dari pemakaian dan harga masing-masing bahan bakar (solar dan gas).
- Harga gas ditentukan oleh PT. Coal Gas Indonesia sebesar US\$ 5.62 berdasarkan asumsi menggunakan batubara kalori 5000-an kal/g dengan harga US\$ 60/ton.

### Evaluasi Kualitas Udara

Untuk mengevaluasi kualitas udara maka dilakukan pengambilan dan analisis contoh-contoh udara ambien, lingkungan kerja dan emisi cerobong mesin diesel. Analisis contoh udara yang terdiri atas nitrogendioksida, sulfurdioksida, karbonmonoksida, hidrokarbon dan partikulat dilakukan di Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Bandung. Metode analisis yang digunakan untuk mengukur kualitas udara dapat dilihat pada Tabel 3.

Kadar ter dan partikulat produk gas termasuk rendah yakni masing-masing 30,81 dan 6,72%. Dengan kadar ter dan partikulat yang demikian rendah, gas tersebut memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel karena persyaratan maksimum adalah 500 mg/m<sup>3</sup> (ter) dan 50 mg/m<sup>3</sup> (partikulat).

### Kinerja mesin diesel

Hasil uji pemetaan mesin menggunakan bahan bakar 100% solar menunjukkan keluaran (*output*) beban maksimum yang dapat dicapai adalah 150 kW. Pengujian pada beban yang lebih tinggi menunjukkan adanya getaran pada mesin diesel sehingga tidak dilanjutkan. Mesin diesel yang kapasitasnya 250 kVA tersebut seharusnya mampu menghasilkan beban maksimum sampai 200 kW. Namun karena mesin lama (buatan 1985) dan baru selesai direkondisi (*overhaul*) maka beban yang dihasilkan tidak optimal.

Tabel 3. Metode analisis kualitas udara

Parameter	Metode	Peralatan
NO <sub>2</sub>	Kolorimetri	UV VIS Spektrometer
SO <sub>2</sub>	Turbidimetri	UV VIS Spektrometer
CO	Yodium Pentoksida	UV VIS Spektrometer
Hidrokarbon	Tube Charcoal	Kromatografi gas
TSP (Debu Total)	Gravimetri	Dust Sampler

Sumber: Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja, Bandung

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Gasifikasi Batubara

Percobaan gasifikasi menggunakan contoh batubara Kalimantan Selatan dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan produk gas yang memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Kualitas gas hasil gasifikasi batubara yang digunakan berupa data analisis komposisi, kadar ter dan kadar partikulat dapat dilihat pada Tabel 4. Gas hasil gasifikasi batubara tersebut mengandung komponen utama gas-gas mampu bakar karbonmonoksida, hidrogen dan metana masing-masing 34,37, 14,05 dan 1,55%. Gas mampu bakar lainnya terdiri atas, etana, etilena, propana dan N-butana. Kadar gas-gas pengotor (*non combustible gas*) yakni nitrogen dan karbondioksida adalah 42,19 dan 6,70%. Dengan komposisi yang demikian, gas tersebut mempunyai nilai kalor 1.601 kkal/m<sup>3</sup>.

Tabel 4. Hasil analisis gas hasil gasifikasi batubara

Komponen	Hasil
CO, %	34,37
H <sub>2</sub> , %	14,05
CH <sub>4</sub> , %	1,55
Etana, %	0,11
Etilena, %	0,17
Propana, %	0,11
N-Butana, %	0,05
O <sub>2</sub> , %	0,70
CO <sub>2</sub> , %	6,70
N <sub>2</sub> , %	42,19
Nilai kalor, kkal/m <sup>3</sup>	1.601
Ter, mg/m <sup>3</sup>	30,81
Partikulat, m/m <sup>3</sup>	6,72

Hasil pengamatan terhadap ruang bakar mesin diesel setelah operasi kontinyu menggunakan bahan bakar campuran gas batubara dan solar sistem *dual fuel* tidak menunjukkan perbedaan dengan menggunakan bahan bakar 100% solar. Tidak ditemukan adanya endapan kerak atau ter batubara dalam ruang bakar mesin diesel.

Tabel 5 menunjukkan perbandingan suhu mesin dengan bahan bakar 100% solar dan bahan bakar campuran (solar dan gas). Hasil operasi kontinyu menunjukkan bahwa suhu air dan minyak pelumas yang dihasilkan oleh bahan bakar 100% solar dan bahan bakar campuran relatif sama dan tidak jauh berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran tidak menyebabkan terjadinya kenaikan suhu mesin. Tetapi di sisi lain, suhu gas buang pada cerobong mesin yang menggunakan bahan bakar campuran cenderung lebih tinggi dari yang menggunakan bahan bakar 100% solar. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh terlambatnya pembakaran bahan bakar campuran dan juga tidak tepatnya jumlah udara pembakaran yang dipasok ke dalam ruang bakar. Akibatnya, sebagian energi (panas) tidak termanfaatkan oleh mesin, tetapi terbawa bersama gas buang proses pembakaran. Dengan demikian, efisiensi pembakaran tidak dapat

maksimal dan keluaran mesin menjadi rendah.

Keterlambatan penyalaan bahan bakar campuran tersebut disebabkan karena penyalaan bahan bakar gas harus menunggu nyala dari solar. Untuk mengatasi keterlambatan penyalaan, maka dilakukan pengaturan *timing* pembakaran pada mesin, yakni pembakaran solar dipercepat dan *timing* pada posisi *poor*. Namun mengingat gas batubara langsung ke luar dari unit gasifikasi (tanpa melalui tangki penampung) dan pemasukannya ke dalam mesin melalui hisapan (dari mesin) maka ujicoba dengan pengaturan/variasi rasio bahan bakar terhadap udara tidak dilakukan.

Pengamatan suhu cerobong, air dan oli mesin setelah pengaturan tersebut (Tabel 6) menunjukkan adanya sedikit penurunan pada pengoperasian mesin menggunakan bahan bakar campuran. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pengaturan *timing* dan pasokan udara yang tepat maka suhu cerobong, air dan oli mesin diharapkan dapat menjadi normal.

Hasil uji laboratorium terhadap pelumas mesin sebelum dan setelah uji operasi kontinyu dapat dilihat pada Tabel 7. Viskositas pelumas setelah uji operasi relatif sama dan tidak banyak perubahan

Tabel 5. Perbandingan suhu cerobong, air dan oli mesin sebelum pengaturan "*timing*" mesin

Daya, kW	100% Solar, °C				<i>Dual fuel</i> , °C			
	Cerobong 1	Cerobong 2	Air	Pelumas	Cerobong 1	Cerobong 2	Air	Pelumas
130	414	441	75	101	451	533	77	104
140	376	399	73	101	451	540	79	103
150	398	421	74	101	455	560	80	104

Tabel 6. Perbandingan suhu cerobong, air dan oli mesin sesudah pengaturan "*timing*" mesin

Daya, kW	100% Solar, °C				<i>Dual fuel</i> , °C			
	Cerobong 1	Cerobong 2	Air	Pelumas	Cerobong 1	Cerobong 2	Air	Pelumas
130	418	448	76	105	478	488	81	106
140	446	471	80	108	518	537	86	109
150	473	496	78	105	527	553	84	108

Tabel 7. Hasil pengujian oli mesin sebelum dan sesudah operasi kontinyu

No.	Parameter	Unit	Sebelum operasi	Setelah operasi
1	<i>Viscosity kiln</i> pada 40°C	cSt	149,7	137,0
2	<i>Viscosity kiln</i> pada 100°C	cSt	15,45	14,40
3	<i>Viscosity Index</i>		105	104
4	<i>Total Base Number (TBN)</i>	mg KOH/g	10,25	7,08

dibanding sebelum operasi. Namun demikian, terjadi penurunan *total base number* yang signifikan dari 10,25 menjadi 7,08. Hal ini disebabkan oleh bereaksinya komponen basa dari oli dengan komponen asam dari gas batubara sehingga jumlah basa dalam oli atau *total base number* menjadi turun. Analisis yang dilakukan terhadap gas batubara memang tidak termasuk kadar asam karena tidak adanya alat atau laboratoirum yang mampu. Disamping itu, pertimbangan lainnya adalah karena kadar belerang batubara cukup rendah (0,16%). Persyaratan kadar asam (sebagai asam asetat) dalam gas batubara untuk mesin pembakaran internal adalah 50 mg/m<sup>3</sup> gas (Anonim, 1986).

Untuk mengatasi hal tersebut, dalam unit gasifikasi batubara perlu dilengkapi dengan sistem penangkap/pemisah asam selain penangkap ter dan partikulat yang sudah ada. Unit penangkap asam ini bisa disisipkan antara *electrostatic precipitator* dan unit pencuci gas. Sistem penangkap asam tersebut sudah banyak tersedia di pasaran. Alternatif lain adalah dengan mencoba memanfaatkan sistem pemurnian gas yang ada tersebut, tetapi air yang dimasukkan ke unit pencuci gas diganti dengan larutan kapur.

### Penghematan Solar

Tabel 8 menunjukkan perbedaan konsumsi solar dan bahan bakar campuran solar/gas gas batubara pada daya 130, 140 dan 150 kW. Dari tabel tersebut terlihat bahwa terdapat penghematan solar yang signifikan pada penggunaan sistem *dual fuel*. Pada daya maksimum 130 kW terdapat penghematan sebesar 25,6 lt solar/jam atau 63,05%, selanjutnya pada daya 140 dan 150 kW masing-masing 28,4 dan 28,8 lt solar/jam atau 63,11 dan 61,28%. Rata-rata penghematan solar pada kegiatan ujicoba pemanfaatan gasifikasi batubara untuk mesin diesel 250 kVA adalah sebesar 62,48%. Penghematan tersebut kemungkinan masih bisa ditingkatkan apabila rasio jumlah udara terhadap bahan bakar (campuran solar/gas) dapat diatur sesuai komposisi

masing-masing bahan bakar (solar dan gas) secara stokiometri. Tetapi, semakin tinggi penghematan pemakaian solar maka semakin rendah pasokan energi untuk mesin diesel karena nilai kalor campuran solar dan gas lebih rendah dari nilai kalor solar. Akibatnya, terjadi penurunan daya maksimum (*derating*) dari mesin diesel. Evaluasi terhadap terjadinya penurunan daya maksimum mesin diesel tidak dilakukan karena kondisi mesin yang sudah tua dan baru selesai rekondisi. Pada ujicoba pemetaan mesin ternyata daya maksimum yang dicapai hanya 150 kW, padahal seharusnya mesin 250 kVA dapat menghasilkan daya maksimum sampai 200 kW. Evaluasi terhadap penurunan daya maksimum akan lebih baik untuk mesin yang kondisinya masih baru.

### Penghematan Biaya Produksi Listrik

Biaya produksi listrik pada operasi mesin diesel sistem *dual fuel* dapat dihitung dari rata-rata penghematan pemakaian solar (Tabel 8), nilai kalor solar, nilai kalor gas batubara dan harga gas batubara, kemudian dengan menggunakan asumsi-asumsi pada harga solar dan nilai (*kurs*) dolar terhadap rupiah.

Harga bahan bakar termasuk minyak dan batubara saat ini sangat berfluktuasi dan bisa berubah dengan cepat setiap saat. Harga gas yang disampaikan oleh PT Coal Gas Indonesia yang disampaikan pada acara “Workshop Pemanfaatan Gasifikasi Batubara Untuk PLTD” di Cirebon tanggal 10 Nopember 2008, adalah sebesar US\$5.62/MMBtu. Harga didasarkan atas harga batubara US\$ 60/ton dan investasi peralatan, biaya operasi serta bunga bank. Sementara pada waktu itu harga bahan bakar minyak mencapai puncaknya dan solar mencapai Rp 7.500,-/lt. Sedangkan nilai dolar saat itu rata-rata sebesar Rp 10.000,-

Berdasarkan data dan asumsi-asumsi tersebut di atas maka penghematan biaya produksi listrik dapat dihitung, yakni antara Rp 1.089,- sampai Rp 1.117,- per kWh atau rata-rata Rp 1.119,- per kWh. Dengan

Tabel 8. Penghematan pemakaian solar

Daya, kW	Konsumsi solar, l/jam		Penghematan solar	
	100% solar	<i>Dual fuel</i>	l/jam	%
130	40,6	15	25,6	63,05
140	45	16,6	28,4	63,11
150	47	18,2	28,8	61,28
Rata-rata				62,48

demikian, terjadi penghematan biaya listrik antara 46,34 dan 47,69% atau rata-rata 47,26% (Tabel 9).

udara lingkungan NO<sub>2</sub> berkisar antara 36 dan 65  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , SO<sub>2</sub> 62 dan 257  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , CO 1.026

**Tabel 9. Penghematan biaya produksi listrik**

Daya (kW)	Biaya Bahan Bakar, Rp/kWh		Penghematan Biaya Produksi Listrik	
	100% solar	Dual fuel	Rp/kWh	%
130	2.342	1.225	1.117	47,69
140	2.411	1.260	1.151	47,74
150	2.350	1.261	1.089	46,34
Rata-rata			1.119	47,26

**Tabel 10. Hasil analisis kualitas udara ambien**

Parameter	Rona awal	Dual fuel	Baku mutu
NO <sub>2</sub> , $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	60	40	150
SO <sub>2</sub> , $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	75	173	365
CO, $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	1.650	1.857	10.000
HC, $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Ttd	Ttd	160
Partikulat, $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	123	193	230

Keterangan:

Baku mutu berdasarkan PP No. 41 tahun 1999

Ttd : tidak terdeteksi

### Kualitas Udara Ambien

Hasil analisis kualitas udara ambien (Tabel 10) menunjukkan perbandingan kualitas udara ambien pada rona awal (sebelum ada kegiatan) dan pada saat operasi mesin diesel sistem *dual fuel* serta persyaratan baku mutu. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa, kecuali kadar NO, secara keseluruhan terjadi sedikit penurunan kualitas udara ambien. Terjadi kenaikan kadar SO<sub>2</sub>, CO dan partikulat dalam udara ambien yaitu kadar SO<sub>2</sub> naik dari 75 menjadi 173  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , CO naik dari 1.650 menjadi 1.857  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dan partikulat naik dari 123 menjadi 193  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ; sementara kadar hidrokarbon tidak terdeteksi. Namun demikian, penurunan kualitas udara ambien ini sangat kecil dan masih jauh di bawah baku mutu udara ambien (Pemerintah Republik Indonesia, 1999).

### Kualitas Udara Lingkungan Kerja

Tabel 11 menunjukkan hasil pengukuran kualitas udara di lingkungan kerja pada saat operasi mesin diesel sistem *dual fuel* dan juga persyaratan baku mutu lingkungan kerja. Hasil dari dua kali pengukuran menunjukkan konsentrasi polutan dalam

dan 1.784  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ; sementara kadar hidrokarbon tak terdeteksi. Konsentrasi masing-masing polutan tersebut masih jauh di bawah baku mutu udara lingkungan kerja yang dipersyaratkan berdasarkan Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi (1997).

### Kualitas Udara Emisi

Tabel 12 menunjukkan hasil analisis kualitas udara emisi cerobong mesin diesel pada operasi 100% solar dan operasi sistem *dual fuel*, serta persyaratan baku mutu udara emisi untuk sumber emisi tak bergerak. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa terdapat sedikit penurunan kualitas udara emisi atau terjadi kenaikan kadar polutan pada gas buang mesin diesel sistem *dual fuel* dibanding operasi dengan 100% solar. Kadar NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO dan partikulat masing-masing naik dari 507 menjadi 624  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , dari 310 menjadi 631  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , dari 354 menjadi 589  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dan dari 0,95 menjadi 1,30  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Namun demikian, kualitas udara emisi gas buang mesin diesel menggunakan bahan bakar sistem *dual fuel* masih lebih rendah dari persyaratan Baku Mutu Udara untuk Emisi Sumber Tidak Bergerak (Kementerian Lingkungan Hidup, 1995).

Kenaikan kandungan unsur polutan dalam udara emisi tersebut disebabkan oleh kandungan-kandungan N, S dan abu pada batubara yang lebih tinggi dibandingkan yang terdapat dalam solar. Sedangkan tingginya kandungan CO diakibatkan oleh kurang sempurnanya pembakaran pada sistem *dual fuel*. Pada pembakaran sistem *dual fuel*, penyalan terjadi akibat kompresi terhadap kabut solar yang kemudian menjadi panas dan selanjutnya memicu penyalan dengan sendirinya. Penyalan solar tersebut kemudian menyebabkan penyalan gas batubara. Oleh karena itu, sistem pembakaran *dual fuel* sedikit lebih lambat dibanding pembakaran 100% solar.

## KESIMPULAN

- Pengoperasian mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran solar dan gas batubara dengan sistem *dual fuel* menunjukkan kinerja yang baik dan tidak terdapat gangguan endapan ter serta tidak menyebabkan kenaikan suhu pada air dan oli mesin.
- Viskositas pelumas mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran solar dan gas batubara relatif sama dan tidak banyak perubahan dibanding sebelum operasi.
- Penggunaan bahan bakar campuran gas batubara dan solar sistem *dual fuel* dapat menyebabkan naiknya suhu cerobong karena terlambatnya pembakaran bahan bakar dan tidak tepatnya rasio udara terhadap bahan bakar.
- Terdapat penghematan solar yang signifikan pada pemanfaatan gasifikasi batubara untuk PLTD sistem *dual fuel* antara 25,6 – 28,8 lt solar/jam atau rata sebesar 62,48%.
- Pemanfaatan gasifikasi batubara untuk PLTD sistem *dual fuel* dapat menurunkan biaya produksi listrik antara Rp 1.080,-/kWh dan Rp1.117,-/kWh atau rata-rata Rp 1.119,-/kWh atau terjadi penurunan 47,26%.
- Secara keseluruhan kualitas udara pada pemanfaatan gasifikasi batubara untuk PLTD masih memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan hidup.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1986. *Wood Gas as Engine Fuel*. FAO, Rome
- Anonim, 2007. Gasification World data Base. U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory.
- Anonim, 2008. Clean Coal Technology Programs: Program Update 2007. U.S. Department of Energy, Assistance Secretary for Fossil Energy, Washington.
- Coal Gas Indonesia, PT., 2008. Unit gasifier batubara untk PLTD. Bahan presentasi "Workshop Pemanfaatan Gasifikasi Batubara Untuk PLTD", Cirebon, 10 Nopember 2008.
- Depnakertran, 1997. Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja No. SE-01/MEN/1997.
- Elliot, M.A. (ed.), 1981. *Chemistry of coal utilization*. Second Suppl. Vol., John Wiley & Sons, New York.
- Francis, W., 1965. *Fuels and Fuel Technology*. Vol II, Section C: Gaseous Fuels. Pergamon Press, Oxford.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 1995. Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-13/MENLH/3/1995.
- Nowacki, P. (Ed.), 1981. *Coal Gasification Process*. Noyes Data Corporation Jersey.
- Nussbanmer, T., 1998. *Swiss Federa Institute of Zurich, Giude line for Sampling and analisis of Tars Condensates and Particulates From Biomass Gasifier*, Zurich.
- Pemerintah Republik Indonesia, 1999. Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999.
- Suprpto, S., 1995. Gasifikasi batubara peringkat rendah dengan pereaksi udara. *Prosiding Seminar Ilmiah Hasil Penelitian dan Pengembangan Bidang Fisika Terapan*, Bandung 2-3 Oktober 1995.
- Tobing, S.W., 2008. Komunikasi Pribadi. PT PLN (Persero) Jasa Produksi.
- Turare, C. Biomass Gasification – Technology and Utilization. ARTES Institute Glucksburg, Germany.
- Ward, C.R., 1984. *Coal Geology and Coal Technology*. Blackwell Scientific Publications, Melbourne.
- [www.Amazon.com](http://www.Amazon.com). Diesel Generator Handbook, 2 Januari 2006.
- [www.esdm.go.id](http://www.esdm.go.id), 6 Januari 2009.