

KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK DUAL-FUEL KAPASITAS 5 kW BERBASIS GASIFIKASI SEKAM PADI BERUNGGUN TETAP

Sunu H Pranolo*, Iddo Fadhil Ratmana, Nugroho Sunu Pratama

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami no. 36 A, Surakarta 27126 Telp/fax:0271-632112

*Email: sunu_pranolo@yahoo.com

Abstract: *Producer gas from rice husk gasification is the potential gaseous fuel for partially substituting diesel fuel demand as it contains combustible gases (CO, H₂, and CH₄). This research examined the effects of air flow rate entering the diesel engine and electrical load on diesel fuel consumption, electrical power of generator, and rice husk specific consumption in gasifier. Gasification process took place in a downdraft air-blown gasifier with 10 cm throat diameter. At rice husk consumption rate of 1 kg/hour and temperature of 827°C, the Specific Gasification Rate (SGR) was 81.53 kg/(m².hour) and the solid residue was 36% (w/w) of input biomass. Total combustible gas content in producer gas was 21.6%. It was observed that diesel fuel saving of 9.32% was obtained at air flow rate of 1.55×10^{-3} m³/s and electrical load of 95% from maximum generator power. Using producer gas at flow rate of 0.91×10^{-3} m³/s caused generator de-rating of 8.33% at electrical load of 10%. Generating 1 kWh of electricity at air flow rate of 2.99×10^{-3} m³/s and electrical load of 95% required 1.85 kg of rice husk. A kilogram of rice husk may substitute 0.26 L of diesel fuel at this air flow rate and load.*

Keywords: *rice husk; gasification; dual-fuel; specific consumption; de-rating*

PENDAHULUAN

Laju konsumsi energi global cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pada tahun 2014, pemenuhan kebutuhan energi global sebesar 12.928,4 *million tonnes oil equivalent* masih didominasi oleh bahan bakar fosil. Minyak, gas alam dan batu bara masing-masing mensuplai 32,57%, 23,71%, dan 30,03% dari total kebutuhan energi global. Sementara itu, sektor sumber energi terbarukan yang meliputi angin, geotermal, *solar cell* dan biomassa secara keeluruhan hanya mampu mensuplai 2,45% dari total kebutuhan energi global (BP, 2015).

Dominasi bahan bakar fosil untuk pemenuhan kebutuhan energi perlu dikurangi mengingat ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan proses pembentukan bahan bakar fosil membutuhkan waktu jutaan tahun. Lebih dari itu, proses pembakaran bahan bakar fosil melepaskan karbon yang sebelumnya telah tersimpan di dalam perut bumi, sehingga terjadi akumulasi karbon di atmosfer yang semakin tinggi.

Pemanfaatan sumber energi terbarukan dalam pemenuhan kebutuhan energi global perlu ditingkatkan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk pembangkitan energi dari biomassa adalah gasifikasi. Gasifikasi biomassa adalah serangkaian reaksi kimia dari komponen-komponen biomassa pada suhu tinggi dengan

udara terbatas untuk produksi gas produser yang mengandung gas mempan bakar, seperti CO, H₂ dan CH₄. Gasifikasi biomassa secara keseluruhan bersifat karbon netral, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan konsumsi bahan bakar fosil. Lebih dari itu, biomassa merupakan sumber terbarukan sehingga keberlanjutan dari proses gasifikasi dapat terjamin.

Keberlanjutan dari teknologi gasifikasi biomassa, khususnya di Indonesia, sangat terjamin karena melimpahnya ketersediaan biomassa di Indonesia. Biomassa yang paling melimpah di Indonesia adalah sekam padi, dengan jumlah produksi pada tahun 2014 mencapai 14,16 juta ton per tahun (BPS, 2015). Pemanfaatan sekam padi sebagai umpan gasifikasi dapat mengurangi jumlah limbah pertanian sekaligus menambah nilai pemanfaatan sekam padi. Dengan diterapkannya teknologi ini, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dapat dikurangi. Lebih dari itu, pengembangan teknologi ini hingga skala nasional berpotensi mengatasi ketidakmerataan distribusi energi listrik pada berbagai daerah terpencil di Indonesia.

Gas produser dapat dimanfaatkan pada mesin diesel bersistem *dual-fuel* untuk penurunan konsumsi solar, namun terdapat kompensasi berupa penurunan daya pembangkitan listrik yang dikenal dengan istilah *de-rating*. Penelitian

ini mempelajari pengaruh pemakaian gas produser hasil gasifikasi sekam padi terhadap kinerja pembangkit listrik diesel, dengan variasi laju alir udara pembakaran dan beban listrik. Tujuan penelitian ini yaitu memperoleh konfigurasi laju alir udara pembakaran dan beban listrik yang menghasilkan kinerja pembangkit listrik *dual-fuel* optimal, yang ditandai dengan diperolehnya nilai maksimal untuk penghematan solar dan daya listrik output genset.

Parameter lainnya yang dianalisis pada penelitian ini yaitu konsumsi spesifik sekam padi di *gasifier* dan tingkat kesetaraan solar dengan sekam padi. Kedua parameter tersebut penting untuk prediksi kebutuhan sekam padi dalam pembangkitan listrik berbasis gasifikasi pada skala yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Proses Gasifikasi

Tahap pertama dari penelitian ini yaitu karakterisasi proses gasifikasi, yang bertujuan memastikan kualitas proses gasifikasi dan gas produser yang dihasilkan. Parameter-parameter yang diperoleh pada tahap ini meliputi *specific gasification rate* (SGR), persentase residu padatan, suhu gasifikasi, kadar gas meman bakar di gas produser, dan kondisi lidah api saat uji pembakaran gas produser di *burner*. Proses gasifikasi sekam padi dilakukan pada *downdraft air-blown gasifier* berunggun tetap dengan diameter *throat* 10 cm. Udara sebagai agen penggasifikasi disuplai ke *gasifier* dengan memanfaatkan isapan *ring blower* 1 HP.

Data yang diambil dalam memperoleh SGR dan persentase residu padatan terdiri dari berat sekam padi input, berat residu padatan, dan durasi reaksi gasifikasi. Suhu dari zona oksidasi di *gasifier* diukur menggunakan *Autonics T4WM-N3NKCC Temperature Indicator*. Kadar gas meman bakar di gas produser dianalisis dengan *Gas Chromatography*. Uji pembakaran gas produser dilakukan di *burner* setelah *gas holder*. Stabilitas dan panjang nyala api yang terbentuk selama uji pembakaran menjadi parameter utama untuk penentuan kelayakan gas output *gasifier* sebagai bahan bakar di genset *dual-fuel*.

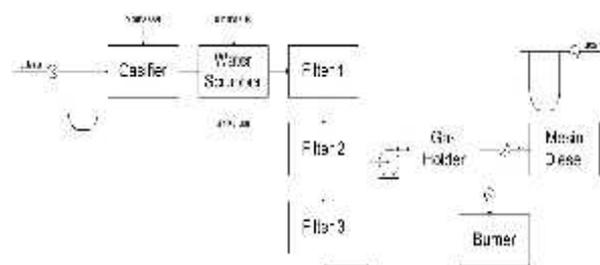
Sebelum memasuki mesin *dual-fuel*, gas produser dialirkan melalui sistem pendinginan dan pembersihan gas yang terdiri dari *water scrubber* untuk penurunan suhu dan jumlah padatan pengotor pada aliran gas produser; dan rangkaian *filter* dengan bahan isian berupa

sekam padi, arang dan kain perca untuk pemisahan komponen-komponen tar and butiran air dari aliran gas yang sulit dipisahkan di *water scrubber*.

Operasi Genset Diesel Dual-Fuel

Tahap ini merupakan fokus utama dari penelitian ini. Operasi *dual-fuel* dilakukan pada 5 kW MT 6800 S Diesel Generator dengan variasi laju alir udara pembakaran dan beban listrik. Variasi laju alir udara pembakaran dilakukan dengan pengaturan bukaan *valve inlet* udara. Parameter yang diperoleh pada tahap ini meliputi penghematan solar, *de-rating*, konsumsi spesifik sekam padi, dan tingkat kesetaraan solar dengan sekam padi.

Data yang diambil dalam memperoleh parameter-parameter tersebut terdiri dari laju konsumsi solar, arus listrik output genset, dan voltase genset. Pengukuran laju konsumsi solar menggunakan alat ukur yang dirancang secara khusus dan terpasang di antara tangki solar dan ruang pembakaran mesin diesel. Arus listrik dan voltase genset diukur dengan tang ampere.



Gambar 1. Skema Unit Pembangkit Listrik Berbasis Gasifikasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Gasifikasi

Sekam padi sebanyak 2,5 kg tergasifikasi seluruhnya dalam waktu 2,5 jam. Jadi, kapasitas konsumsi sekam padi di *gasifier* sebesar 1 kg/jam.

Suhu di zona oksidasi *gasifier* mencapai 827°C. Suhu tersebut berada dalam rentang suhu yang diperlukan di zona oksidasi gasifikasi, yaitu 800-1.200°C (All Power Labs, 2015). Fenomnaini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan pada zona oksidasi ini mampu mensuplai kebutuhan panas untuk tiga tahap gasifikasi lainnya, yang meliputi tahap pengeringan, pirolisis, dan reduksi. Satu kilogram sekam padi menghasilkan gas produser sebanyak 6,55 m³ pada suhu tersebut.



Gambar 2. Nyala Api di Burner Hasil Uji Pembakaran Gas Produser

Specific Gasification Rate (SGR) menunjukkan laju gasifikasi biomassa per satuan luas *throat gaifier*. SGR dipengaruhi oleh berat biomassa, berat arang yang terbentuk, dan waktu operasi. Nilai SGR yang semakin tinggi menunjukkan laju gasifikasi yang semakin cepat sehingga laju konsumsi biomassa dan laju alir gas produser semakin besar. Pada penelitian ini, diperoleh nilai SGR sebesar 81,53 kg/(m².jam).

Persentase residu padatan merupakan hasil perbandingan berat arang sisa dengan berat biomassa awal. Semakin kecil persentase residu padatan berarti semakin besar biomassa yang tergasifikasi. Pada penelitian ini, diperoleh nilai persentase residu padatan sebesar 36%.

Analisis gas *chromatography* menunjukkan bahwa gas produser yang dihasilkan mengandung 20,6% CO, 0,4% H₂, 0,6% CH₄ dan 4,4% CO₂. Rendahnya kandungan gas hidrogen pada gas produser tersebut disebabkan oleh penggunaan udara sebagai *gasifying agent* dan rendahnya kandungan atom hidrogen di sekam padi. Kandungan hidrogen pada sekam padi hanya sebesar 4,59% (EFE, 2008).

Higher Heating Value (HHV) gas produser yang dihasilkan sebesar 2.860 kJ/Nm³. Nilai ini masih di bawah standar HHV gas produser yang dihasilkan di *downdraft air-blown gasifier* yang dilaporkan oleh Bridgwater (2006), yaitu sebesar 5.700 kJ/Nm³. Namun, gas produser yang dihasilkan di penelitian ini masih mampu menghasilkan nyala api yang stabil dengan panjang 10 – 15 cm selama uji pembakaran di *burner*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Fenomena ini menunjukkan bahwa gas produser pada penelitian ini memiliki kualitas yang cukup baik dan layak digunakan sebagai bahan bakar di genset *dual-fuel*.

Operasi Genset Diesel Dual-Fuel

Sebelum pengambilan data operasi genset *dual-fuel*, dilakukan pengambilan data operasi genset *single-fuel* (tanpa gas produser) dengan bukaan *valve inlet* udara sebesar 100% dan variasi beban listrik. Data hasil operasi genset diesel *single-fuel* ditampilkan pada Tabel 1. Data tersebut diperlukan sebagai pembandingan data operasi *dual-fuel* untuk perhitungan penghematan solar dan *de-rating*.

Tabel 1. Hasil Uji Kinerja Mesin Diesel Single-Fuel

| Rasio beban listrik* | Laju alir udara pembakaran × 10 ³ (m ³ /s) | Daya genset (Watt) | Konsumsi solar (L/kWh) |
|----------------------|--|--------------------|------------------------|
| 10% | 2,58 | 537,60 | 1,28 |
| 50% | 2,79 | 2.331,00 | 0,52 |
| 95% | 2,99 | 4.730,40 | 0,51 |

*= beban listrik / daya genset maksimal (5 kW)

Pengambilan data operasi genset *dual-fuel* dilakukan dengan variasi beban listrik dan variasi bukaan *valve inlet* udara. Data hasil operasi genset diesel *dual-fuel* ditampilkan pada Tabel 2.

Kenaikan beban listrik pada operasi genset menyebabkan kenaikan suhu ruang bakar. Suhu yang tinggi di ruang bakar

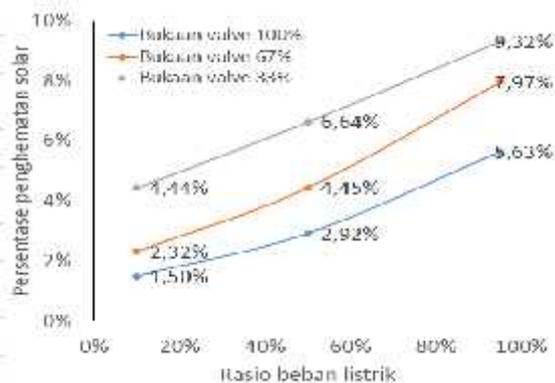
Tabel 2. Hasil Uji Kinerja Mesin Diesel Dual-Fuel

| Bukaan <i>valve inlet</i> udara | Rasio beban listrik | Laju alir udara pembakaran × 10 ³ (m ³ /s) | Laju alir gas produser × 10 ³ (m ³ /s) | Laju konsumsi sekam (kg/jam) | Daya genset (Watt) | Konsumsi solar (L/kWh) |
|---------------------------------|---------------------|--|--|------------------------------|--------------------|------------------------|
| 100% | 10% | 2,58 | 1,84 | 1,01 | 515,20 | 1,26 |
| | 50% | 2,79 | 2,11 | 1,16 | 2.308,80 | 0,50 |
| | 95% | 2,99 | 2,35 | 1,67 | 4.708,80 | 0,48 |
| 67% | 10% | 1,84 | 2,58 | 1,42 | 512,90 | 1,24 |
| | 50% | 2,11 | 2,79 | 1,54 | 2.242,20 | 0,49 |
| | 95% | 2,35 | 2,99 | 1,80 | 4.686,60 | 0,47 |
| 33% | 10% | 0,91 | 3,17 | 1,74 | 492,80 | 1,22 |
| | 50% | 1,24 | 3,32 | 1,83 | 2.197,80 | 0,48 |
| | 95% | 1,55 | 3,48 | 1,96 | 4.555,20 | 0,46 |

meningkatkan atomisasi maupun penguapan bahan bakar sehingga proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi semakin baik. Fenomena ini menyebabkan proses pembakaran semakin efektif sehingga laju konsumsi solar semakin kecil baik untuk operasi genset tanpa gas produser maupun dengan gas produser (lihat Tabel 1 dan 2). Jadi, dapat disimpulkan bahwa kenaikan beban listrik menyebabkan penurunan konsumsi solar.

Penurunan laju alir udara pembakaran, yang ditandai dengan penurunan bukaan *valve inlet* udara menyebabkan menyebabkan laju alir gas produser input genset semakin besar. Peningkatan laju alir gas produser menyebabkan peningkatan substitusi solar. Akibatnya, persentase penghematan solar meningkat (lihat Gambar 3).

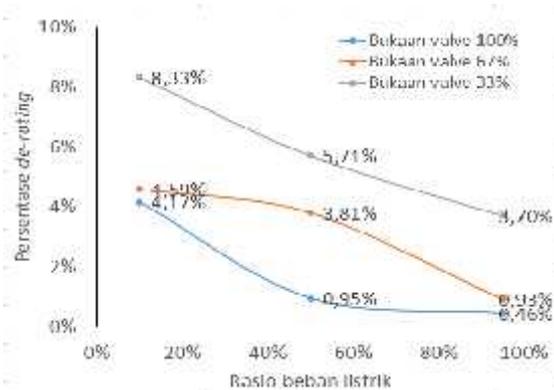
Persentase penghematan solar terbesar pada penelitian ini yaitu 9,32%, yang diperoleh pada laju alir udara $1,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 95% dari daya maksimal genset (Gambar 3). Nilai persentase penghematan solar di atas masih relatif rendah karena suplai gas produser dari *gasifier* berkapasitas 1 kg/jam tidak mampu mengimbangi kebutuhan mesin diesel genset 5 kW. Peningkatan persentase penghematan solar dapat dilakukan dengan peningkatan kapasitas *gasifier*.



Gambar 3. Persentase Penghematan Solar pada Berbagai Bukaan Valve dan Beban Listrik

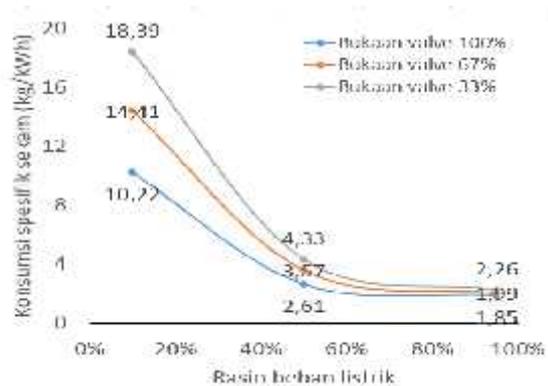
Penggunaan gas produser di mesin diesel menyebabkan penurunan daya pembangkitan listrik (*de-rating*). Berdasarkan profil persentase *de-rating* yang ditampilkan di Gambar 4, dapat disimpulkan bahwa operasi genset dengan beban listrik yang tinggi menghasilkan persentase *de-rating* yang rendah. Beban listrik yang semakin tinggi menyebabkan suhu di ruang pembakaran genset meningkat sehingga pembakaran yang terjadi lebih efektif dan *de-rating* semakin kecil. Penurunan laju alir udara input genset, yang menyebabkan kenaikan laju alir gas produser input genset menghasilkan

persentase *de-rating* yang lebih tinggi. Persentase *de-rating* terbesar yaitu 8,33%, yang diperoleh pada laju alir udara $0,91 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 10% dari daya genset maksimal.



Gambar 4. Persentase De-rating pada Berbagai Bukaan Valve dan Beban Listrik

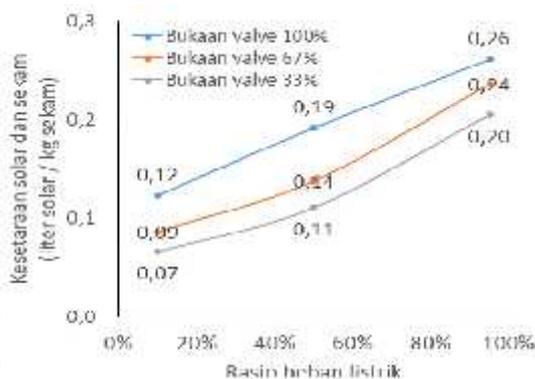
Konsumsi spesifik sekam, yang didefinisikan sebagai jumlah sekam yang terkonsumsi untuk pembangkitan listrik sebesar 1 kWh, mengalami penurunan seiring peningkatan laju alir udara pembakaran dan kenaikan beban listrik, sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai konsumsi sekam terkecil pada penelitian ini yaitu 1,85 kg/kWh, yang diperoleh pada laju alir udara $2,99 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 95% dari daya genset maksimal.



Gambar 5. Konsumsi Spesifik Sekam pada Berbagai Bukaan Valve dan Beban Listrik

Tingkat kesetaraan solar dengan sekam padi, yang didefinisikan sebagai jumlah solar yang dapat tersubstitusi oleh setiap kilogram sekam padi, mengalami peningkatan seiring peningkatan laju alir udara pembakaran dan kenaikan beban listrik, sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai kesetaraan terbesar pada percobaan ini yaitu 0,26 L solar / kg sekam, yang diperoleh pada laju alir udara

$2,99 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 95% dari daya genset maksimal.



Gambar 6. Tingkat Kesetaraan Solar dengan Sekam Padi pada Berbagai Bukaan Valve dan Beban Listrik

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan operasi genset disel *dual-fuel*, yaitu:

1. Penggunaan beban listrik yang tinggi hingga mendekati daya genset maksimal selalu menjadi pilihan yang ideal untuk operasi genset. Pada tingkat laju alir udara pembakaran yang sama, peningkatan beban listrik meningkatkan penghematan solar, menurunkan persentase *de-rating*, menurunkan konsumsi spesifik sekam serta meningkatkan tingkat kesetaraan solar dengan sekam padi.
2. Pada tingkat beban listrik yang sama, penurunan laju alir udara pembakaran dengan mengurangi bukaan *valve inlet* udara menyebabkan peningkatan penghematan solar dan kesetaraan antara solar dengan tingkat sekam padi, serta penurunan konsumsi spesifik sekam. Satu-satunya kelemahan dari konfigurasi ini yaitu terjadinya peningkatan presentase *de-rating*.
3. Pada tingkat beban listrik yang sama, presentase *de-rating* dapat diturunkan dengan peningkatan laju alir udara pembakaran. Namun, konfigurasi ini menyebabkan penurunan penghematan solar dan kesetaraan antara solar dengan tingkat sekam padi, serta peningkatan konsumsi spesifik sekam.

KESIMPULAN

Persentase penghematan solar oleh gas produser hasil gasifikasi sekam padi mengalami peningkatan seiring dengan penurunan laju alir udara pembakaran dan kenaikan beban listrik. Persentase penghematan terbesar pada penelitian ini yaitu 9,32%, yang diperoleh pada laju alir udara pembakaran $1,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 95% dari daya genset maksimal.

Persentase *de-rating* mengalami penurunan seiring peningkatan laju alir udara input genset dan penurunan beban listrik. Persentase penurunan daya listrik terbesar pada penelitian ini yaitu 8,33 yang diperoleh pada laju alir udara pembakaran $0,91 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 10% dari daya genset maksimal.

Konsumsi spesifik sekam mengalami penurunan seiring peningkatan laju alir udara pembakaran dan beban listrik. Konsumsi spesifik terkecil pada penelitian ini yaitu 1,85 kg/kWh, yang diperoleh pada laju alir udara pembakaran $2,99 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 95% dari daya genset maksimal.

Tingkat kesetaraan solar dengan sekam padi mengalami peningkatan seiring peningkatan laju alir udara pembakaran dan beban listrik. Tingkat kesetaraan terbesar pada penelitian ini yaitu 0,26 liter solar per kilogram sekam, yang diperoleh pada laju alir udara pembakaran $2,99 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan beban listrik 95% dari daya genset maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- All Power Labs, 2015, "The Five Processes of Gasification", <http://www.allpowerlabs.com/gasification-explained>, diakses pada 22 Februari 2015 pukul 14.50 WIB
- Badan Litbang Departemen Pertanian, 2008, "Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani", <http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/wr304086.pdf>, diakses pada 20 Juli 2015 pukul 10.50 WIB
- BPS (Badan Pusat Statistik), 2015, "Produksi Padi Tahun 2015 Diperkirakan Naik 6,64%", <http://bps.go.id/index.php/brs/1157> diakses pada 20 Juli 2015 pukul 09.30 WIB
- Bridgwater, T., 2006, "Review Biomass for energy", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 86 pp.1755–1768, Bio-Energy Research Group, Aston University, Birmingham
- BP (British Petroleum), 2015, "BP Statistical Review of World Energy 2015", www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf, diakses pada 20 Juli 2015 pukul 08.50 WIB
- EFE (Energy for Environment), 2008, "Biomass Analysis", www.efc.or.th/download/BiomassAnalysis.pdf, diakses pada 20 Juli 2015 pukul 09.35 WIB
- Pranolo, S. H., 2010, "Potensi Penerapan Teknologi Gasifikasi Tongkol Jagung sebagai Sumber Energi Alternatif di

-
- Pedesaan”, Seminar Nasional Energi Terbarukan Indonesia di Universitas Jendral Sudirman, Purwokerto
- Simpson, D.H., 2001, “Biomass Gasification for Sustainable Development”, www.safariseeds.com/botanical/biodigestion/%20biodigestion.htm, diakses pada 22 Februari 2015 pukul 14.30 WIB
- Susanto, H., 2010, “Sekilas tentang Teknologi Gasifikasi”, www.esptk.fti.itb.ac.id, diakses pada 22 Februari 2015 pukul 14.50 WIB