

## Perbandingan Efisiensi dan Ongkos Energi antara Pembangkit Listrik dengan Syngas Gasifikasi Sekam Padi dan dengan Bensin

Suyitno, Muhammad Nizam,  
Dharmanto, Khamdan Mujadi, Muhammad Imam Saputra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126, Telf/Fax: 0271 632163  
E-mail: suyitno@uns.ac.id

### Abstrak

Tahapan penting dari pengembangan teknologi baru supaya dapat digunakan oleh masyarakat adalah seberapa besar efisiensi dan biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan teknologi yang sudah ada. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi dan ongkos energi antara pembangkit listrik tenaga *syngas* dari gasifikasi sekam padi beragen udara-uap air dengan pembangkit listrik tenaga bensin dengan mesin penggerak dan generator yang sama. *Syngas* diproduksi dengan gasifikasi sistem *updraft* pada laju sekam 5 kg/jam dengan rasio uap/udara sebesar 0,25, 0,5, 0,75 dan 1. Temperatur uap yang digunakan adalah 400°C dan 500°C. Reaktor gasifikasi dipanasi dengan pemanas listrik sebesar 4,4 kW. *Syngas* yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai bahan bakar motor bakar. Motor bakar dikopel dengan generator listrik tipe 1 fasa berkapasitas 12 kVA. Spesifikasi motor bakar yang digunakan adalah empat silinder berkapasitas 970 cc. Pembebanan dilakukan pada 2,5 kW, 5 kW, 7,5 kW, dan 10 kW dengan beban menggunakan pemanas listrik. Dari penelitian dapat diperoleh hasil bahwa efisiensi energi listrik dari *syngas* dengan agen uap-udara lebih tinggi dari efisiensi energi listrik dari *syngas* dengan agen udara. Nilai efisiensi tertinggi berada pada variasi rasio uap/udara 0,5 dengan temperature uap 500°C pada pembebanan 7500 Watt yaitu sebesar 21,21%. Ongkos Energi listrik yang dibutuhkan dari pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* relatif mahal, yaitu 2.950-9.000 rupiah per kWh dibandingkan dengan bensin sekitar 2.400 – 3.900 rupiah per kWh.

**Keywords:** pembangkit listrik, *syngas*, uap, udara, efisiensi, ongkos energi

### Pendahuluan

Untuk memanfaatkan energi biomasa terutama sekam padi secara efektif diperlukan teknik atau cara yang salah satunya adalah gasifikasi dengan agen udara yang akan menghasilkan *producer gas* sebagai bahan bakar (Tewari et al., 2001; Pengmei et al., 2007). Penelitian sebelumnya di Jurusan Teknik Mesin UNS ditujukan untuk meneliti unjuk kerja generator motor bakar berbahan bakar *producer gas* dengan agen gasifikasi berupa udara. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai torsi untuk bahan bakar gasifikasi sekam padi tertinggi pada beban 6000 Watt yaitu sebesar 19,13 Nm dan semakin menurun pada penambahan beban 8000 Watt dan 10000 Watt, yaitu sebesar 14,12 Nm dan 5,83 Nm (Suyitno et al., 2009). Dilihat dari nilai torsi yang dihasilkan pada pengujian tersebut, efisiensi mesin dengan *producer gas* turun pada pembebanan diatas 6000 Watt. Hal ini dikarenakan *producer gas* pada gasifikasi dengan agen udara memiliki LHV (*low heating value*) yang rendah karena kandungan N<sub>2</sub> pada udara yang mencapai 76% yang dapat mempengaruhi nilai kalor *producer gas*.

Oleh karena itu untuk meningkatkan kualitas gas, dapat dilakukan gasifikasi dengan penambahan agen *steam* yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan H<sub>2</sub> sebagai salah satu cara menaikkan nilai kalor *producer gas*.

### Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Bahan utama yang digunakan adalah sekam padi dengan kadar air maksimum 11%. Uji ultimate dan proximate sekam padi dapat dilihat pada Tabel 1. Alat utama berupa gasifier dan pembangkit listrik berupa generator-motor bakar 970 cc. Generator yang digunakan untuk membangkitkan listrik menggunakan Generator AC tipe 1 fasa dengan kapasitas 12 kVA. Gasifier yang digunakan berjenis *up draft* dengan pemanas luar berupa listrik. Pemanas terbuat dari kawat nikelin yang dililitkan pada dinding reaktor.

Tabel 1. Uji ultimate dan proximate dari sekam padi

| Proximate    |         | Sekam padi |
|--------------|---------|------------|
| Moisture     | (%)     | 7,62       |
| Ash          | (%)     | 18,75      |
| Volatile     | (%)     | 59,4       |
| Fixed carbon | (%)     | 14,23      |
| Nilai Kalor  | (MJ/kg) | 14,03      |
| Ultimate     |         | Sekam padi |
| Carbon       | (%)     | 38,02      |
| Hidrogen     | (%)     | 5,28       |
| Nitrogen     | (%)     | 0,74       |
| Sulfur       | (%)     | 0,07       |
| Oksigen      | (%)     | 37,14      |

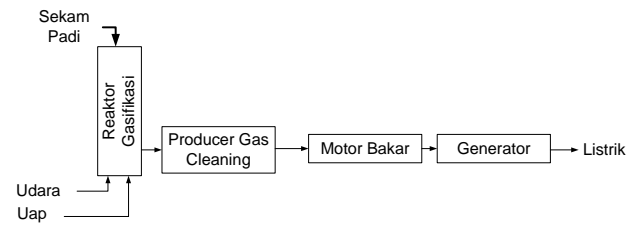
Gasifikasi menggunakan uap sebagai agen yang dihasilkan dari boiler. Udara gasifikasi dimasukkan ke dalam reaktor dengan menggunakan blower. Bahan baku gasifikasi diumpungkan melalui atas reaktor secara kontinyu dengan *screw* konveyor yang diputar dengan motor listrik. Kecepatan udara diukur dengan menggunakan anemometer jenis EZ30: EzFlex™. Panjang reaktor 70 cm dengan diameter luar 25 cm sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Pada saat pengujian gasifikasi, uap dialirkan ke dalam reaktor dengan variasi rasio uap/udara 0,25 0,5 0,75, 1 pada temperatur 400°C dan 500°C.

Massa sekam padi, sisa arang/abu gasifikasi, dan tar diukur dengan timbangan digital merk AND FX-5000i. Gas H<sub>2</sub> diukur dengan sensor tipe T 656812 dan CO diukur dengan *gas analyser*.

Setelah motor bakar berhasil dihidupkan, mulai melakukan pengambilan data meliputi laju aliran udara dan *producer gas* yang masuk ke motor bakar, daya, tegangan, arus, serta putaran mesin yang dihasilkan oleh motor bakar berbahan bakar *producer gas*. Data diambil untuk setiap variasi beban yaitu 2500, 5000, 7500, dan 10000 Watt.



Gambar 1. Reaktor Gasifier



Gambar 2. Skema Penelitian

Dari data yang sudah diperoleh pada pengambilan sebelumnya, maka dapat dilakukan analisa data untuk mengetahui unjuk kerja dari motor bakar berbahan bakar *producer gas* dengan agen uap dan udara. Analisa kedua dilakukan untuk mengetahui berapa ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik dengan tenaga penggerak dari motor bakar berbahan bakar *producer gas* dari gasifikasi sekam padi.

Efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ ) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor (Heywood, 1988). Efisiensi termal dapat dinyatakan dengan :

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{G_f \cdot Q_f} \quad (1)$$

Ongkos energi adalah biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik per kWh. Dalam pembangkit listrik berpengerak motor bakar dengan bahan bakar *producer gas*, biaya listrik dihitung berdasarkan biaya kebutuhan *producer gas* per jam dibagi dengan energi yang dihasilkan generator.

$$\text{Biaya listrik per kWh} = (H_{pg} \cdot \dot{m}_{pg}) / (N_{generator} \cdot t) \quad (2)$$

Harga *producer gas* diperoleh dari harga sekam sebagai bahan bakar gasifikasi dan biaya listrik yang digunakan dalam proses gasifikasi seperti penggunaan blower, motor pada *screw*, dan pemanas reaktor.

$$\begin{aligned} \text{Biaya } \textit{producer gas} \text{ per kg} &= (H_{pg} \cdot \dot{m}_{sk}) + \\ &+ (P_{pompa} \cdot Ls.t) + (P_{blower} \cdot Ls.t) + \\ &+ (P_{pemanas} \cdot Ls.t) + (P_{uap} \cdot TDL.t) \end{aligned} \quad (3)$$

## Hasil dan Pembahasan

### Kandungan Hidrogen dan CO

Hasil pengujian gasifikasi udara dan gasifikasi uap/udara menghasilkan *producer gas* sebagai bahan bakar motor generator, *producer gas* tersebut

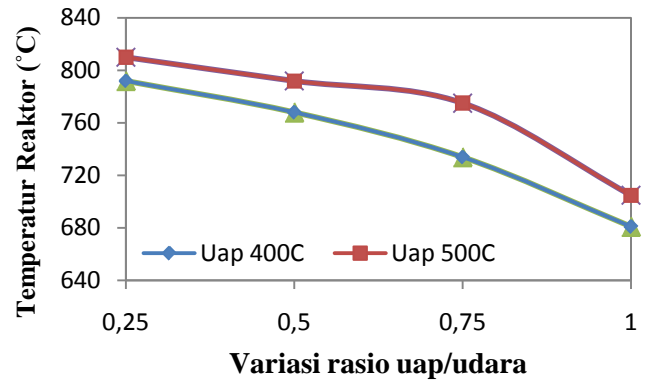
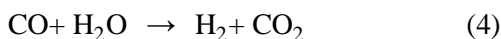
mengandung gas-gas mampu bakar seperti hidrogen (H<sub>2</sub>) dan karbon monoksida (CO) sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kandungan H<sub>2</sub> dan CO pada tiap variasi pengujian

| Temperatur Uap (°C) | Rasio Uap/udara | H <sub>2</sub> | CO     |
|---------------------|-----------------|----------------|--------|
| 400                 | 0,25            | 11,63%         | 13,56% |
|                     | 0,5             | 18,24%         | 10,05% |
|                     | 0,75            | 17,36%         | 11,19% |
|                     | 1               | 11,26%         | 7,32%  |
| 500                 | 0,25            | 12,31%         | 14,01% |
|                     | 0,5             | 18,61%         | 9,72%  |
|                     | 0,75            | 18,24%         | 10,21% |
|                     | 1               | 11,61%         | 8,64%  |
| Agen udara          |                 | 9,96%          | 14,80% |

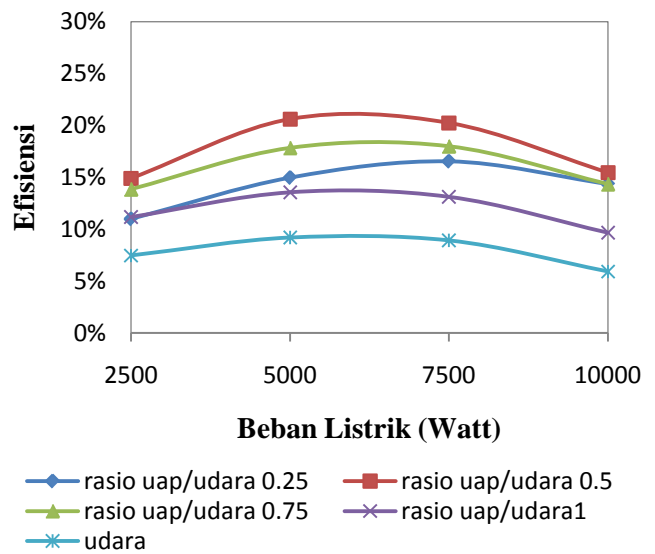
Tabel 2 menunjukkan kandungan H<sub>2</sub> dan CO pada tiap variasi pengujian. Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai H<sub>2</sub> tertinggi berada pada variasi rasio uap/udara 0.5 pada tiap variasi temperatur uap, nilai H<sub>2</sub> dipengaruhi oleh temperatur pada reaktor. Semakin tinggi temperatur reaktor, maka semakin tinggi pula prosentase H<sub>2</sub> dalam *producer gas* (Wei et al., 2007). Temperatur reaktor pada tiap variasi ditunjukkan pada Gambar 3. Semakin besar massa uap air yang digunakan, semakin rendah temperatur reaktor. Penurunan temperatur reaktor disebabkan karena sebagian energi dalam reaktor digunakan untuk memanaskan uap air yang masuk. Semakin banyak jumlah uap air yang masuk ke dalam reaktor maka semakin besar pula energi yang digunakan untuk pemanasan. Temperatur tertinggi pada reaktor terjadi pada variasi rasio uap/udara 0,25 dengan temperatur uap 500°C, namun prosentase gas H<sub>2</sub> dalam *producer gas* lebih rendah dibandingkan dengan rasio uap/udara 0,5. Hal ini menunjukkan rasio uap/biomasa 0,18 kurang maksimum pada temperatur 810°C. Rasio uap/biomasa terbaik pada pengujian ini sebesar 0,36 pada temperatur 792°C (Wei et al., 2007).

Prosentase CO yang dihasilkan berbanding terbalik dengan prosentase H<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan karena dalam teori gasifikasi dengan menggunakan agen uap terjadi reaksi *water gas shift* yaitu reaksi karbon monoksida yang bereaksi dengan uap air membentuk hidrogen dan karbon dioksida seperti pada persamaan di bawah.

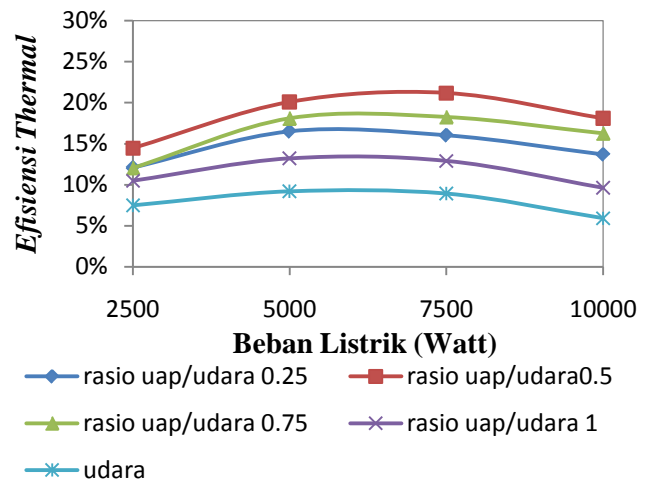


**Gambar 3.** Hubungan antara temperatur reaktor dengan variasi rasio uap/udara

**Efisiensi Motor Generator**



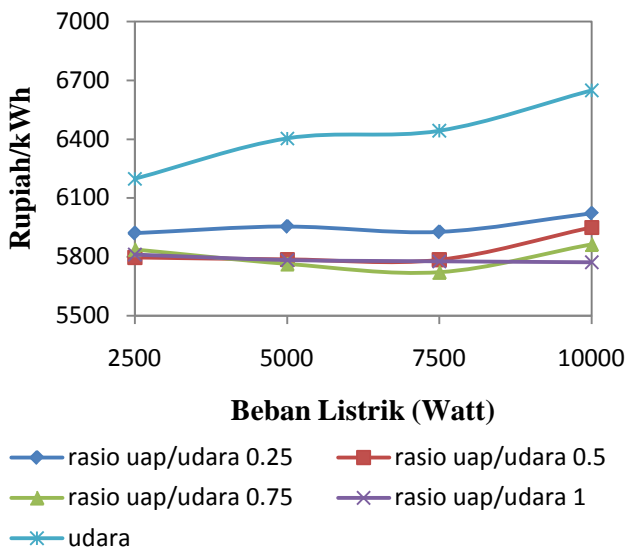
**Gambar 4.** Efisiensi listrik dari motor pembangkit listrik berbahan bakar PG biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan temperatur uap 400°C



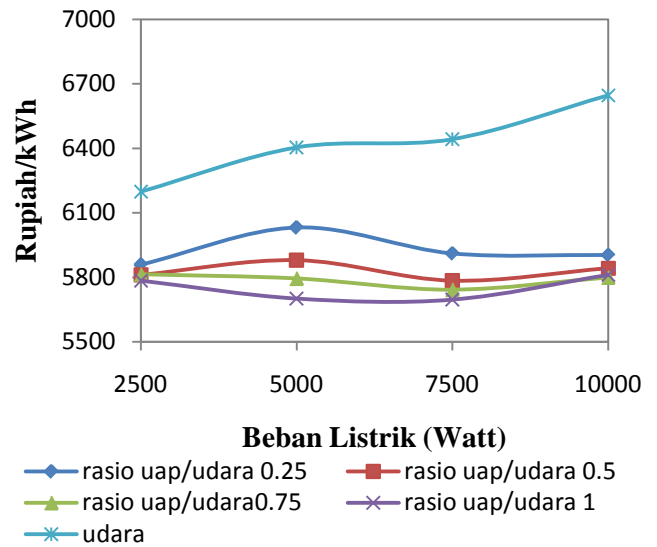
$\Delta H = -42 \text{ kJ/mol}$   
**Gambar 5.** Efisiensi listrik dari motor pembangkit listrik berbahan bakar PG biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan temperatur uap 500°C

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan hubungan antara efisiensi listrik dari generator-motor bakar berbahan bakar *producer gas* dari biomasa dengan variasi agen gasifikasi dan beban pengujian. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat efisiensi listrik dari mesin pembangkit berbahan bakar *producer gas* beragen udara lebih rendah dari pada mesin dengan bahan bakar *producer gas* beragen uap/udara. Hal ini disebabkan karena penambahan uap pada proses gasifikasi dapat meningkatkan nilai kalor *producer gas* yang ditandai oleh meningkatnya kandungan H<sub>2</sub> seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Gambar 4 terlihat bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada pengujian dengan bahan bakar *producer gas* dari gasifikasi agen uap/udara rasio 0,5, yaitu sebesar 20,62% pada pembebanan 5000 Watt. Hal ini dikuatkan dengan nilai H<sub>2</sub> tertinggi berada pada variasi uap/udara 0,5. Sama halnya pada Gambar 5 yang mana efisiensi tertinggi berada pada variasi rasio uap/udara 0,5, namun nilai tertinggi berada pada pengujian dengan beban 7500 Watt yaitu sebesar 21,21%. Hal ini dikarenakan penurunan temperatur reaktor tidak serendah pada pengujian dengan temperatur uap 400°C, sehingga proses gasifikasi dengan temperatur uap 500°C menghasilkan kadar H<sub>2</sub> yang lebih tinggi (Tabel 2). Nilai efisiensi pembangkit listrik ini setara dengan penelitiannya lainnya dengan gasifikasi uap yaitu 23% (Belgiorno et al., 2003).

**Ongkos Energi Pembangkit listrik**



**Gambar 6.** Ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh pada gasifikasi dengan temperatur uap 400°C



**Gambar 7.** Ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh pada gasifikasi dengan temperatur uap 500°C

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hubungan antara ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan *producer gas* dengan beban yang diujikan. Analisa ongkos energi dihitung dari biaya kebutuhan *producer gas* sebagai bahan bakar dan biaya listrik yang digunakan untuk menghidupkan blower dan pompa serta biaya listrik pada pemanas reaktor. Perhitungan harga sekam saat ini sekitar Rp. 100.-/kg. Sedangkan harga listrik sekitar Rp. 916.-/kwh.

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 di atas terlihat bahwa penambahan uap sebagai agen gasifikasi sangat berpengaruh pada ongkos energi. Hal ini disebabkan dengan penambahan uap pada reaksi gasifikasi dapat meningkatkan kualitas *producer gas*, sehingga nilai dari konsumsi bahan bakar lebih rendah dibanding dengan pengujian dengan *producer gas* dari gasifikasi agen udara. Dari data efisiensi tertinggi pada variasi rasio uap/udara 0,5 dengan temperatur uap 500°C pada pembebanan 7500 Watt juga dapat disimpulkan bahwa ongkos energi paling murah pada variasi tersebut yaitu sebesar 5800 rupiah per kWh. Harga listrik yang dihasilkan dari proses gasifikasi ini terbilang mahal. Hal ini dikarenakan proses gasifikasi menggunakan panas dari pemanas luar yang mana membutuhkan daya listrik mencapai 4300 Watt. Sehingga kedepannya, jenis pemanas luar pada gasifier perlu dirancang ulang sehingga ongkos energinya dapat kompetitif.

**Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu efisiensi listrik dari

generator-motor bakar dengan bahan bakar *producer gas* dari gasifikasi uap-udara lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi listrik yang menggunakan bahan bakar *producer gas* dari gasifikasi udara pada semua variasi beban. Nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 21,21% terjadi pada variasi rasio uap/udara 0,5 dengan temperatur uap 500°C pada pembebanan 7500 Watt. Ongkos Energi listrik yang dibutuhkan dari pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* relatif mahal, yaitu 2.950-9.000 rupiah per kWh dibandingkan dengan bensin sekitar 2.400 – 3.900 rupiah per kWh. Selanjutnya penelitian untuk menemukan sistem pemanas luar yang ongkos energinya rendah dan metode baru dalam meningkatkan lagi kandungan hidrogen dalam *syngas* menarik untuk dilakukan karena dapat meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan ongkos energi dari pembangkit.

### Ucapan Terima kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP<sub>2</sub>M DIKTI, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah mendukung penelitian Hibah Pascasarjana ini dengan kontrak penelitian No. 286/SP2H/PL/Dit.Litabmas/IV/2011 dan 81/UN27/PN/2012.

### Nomenklatur

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| G   | Laju massa (kg/jam)          |
| H   | Harga (Rp)                   |
| m   | Massa (kg)                   |
| N   | Daya (W)                     |
| Q   | Nilai kalor (kJ/kg)          |
| t   | Waktu                        |
| TDL | Tarif dasar listrik (Rp/kWh) |

#### Greek letters

|        |               |
|--------|---------------|
| $\eta$ | efisiensi (%) |
|--------|---------------|

#### Subscripts

|    |                     |
|----|---------------------|
| e  | efektif             |
| f  | bahan bakar         |
| pg | <i>Producer gas</i> |
| sk | sekam               |
| th | <i>thermal</i>      |

### Referensi

- Belgiorno, V., G. De Feo, C. Della Rocca, and R.M.A. Napoli. Energy from Gasification of Solid Wastes. *Waste Management* 23:1–15. (2003).
- Heywood, John B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamental*.
- Pengmei, Lv, Zhenhong Yuan, Longlong Ma,

Chuangzhi Wu, Yong Chen, and Jingxu Zhu. Hydrogen-Rich Gas Production from Biomass Air and Oxygen/Steam Gasification in a Downdraft Gasifier. *Renewable Energy* 32:2173-2185. (2007).

- Suyitno, W. Juwana, E., and Zainal Arifin. Prototipe Pembangkit Listrik 10 Kw Tenaga Gasifikasi Bertingkat *Flexi Biomass* Yang Dilengkapi *Plasm Tar Reduction*. Surakarta, Indonesia: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Sebelas Maret. (2009).
- Tewari, P. G., J. P. Subrahmanyam, and M. K. Gajendra Babu. Experimental Investigations on the Performance Characteristics of a Producer Gas Fuelled Spark Ignition Engine. *Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology*. (2001).
- Wei, Ligang, Shaoping Xu, Li Zhang, Changhou Liu, Hui Zhu, and Shuqin Liu. Steam Gasification of Biomass for Hydrogen-Rich Gas in a Free-Fall Reactor. *International Journal Of Hydrogen Energy* 32 (1):24-31. (2007).