“STUDI EKSPERIMENTAL GASIFIKASI *UPDRAFT* SEKAM PADI DAN BATUBARA UNTUK PRODUKSI GAS MAMPU BAKAR ”

Akhmad Syarie¹⁾, Yopi Riyanto²⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin,
Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Ahmad Yani KM 38 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714
Telpon. 0511-4772642, Fax 0511-4772642
E-mail : yopiriyanto45@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah syngas yang dihasilkan pada proses gasifikasi pencampuran sekam padi dengan batubara kualitas rendah pada temperatur 500 °C dan mengetahui jumlah produk sampingan berupa Tar dan Char dari proses gasifikasi *updraft* sekam padi dan batubara kualitas rendah pada temperatur 500 °C. Pada penelitian ini didapatkan hasil syngas pada proses gasifikasi *updraft* sekam padi dan batubara kualitas rendah yaitu sebanyak 96,62 L. Volume terbanyak pada sampel SP 200 gr : BB 0 gr sebesar 29,56 L, pada sampel SP 180 gr : BB 20 gr sebesar 25,7 L, pada SP 140 gr : BB 60 gr sebesar 21,88 L dan volume paling sedikit pada SP 100 gr : BB 100 gr sebesar 19,45L. Hasil dari produk sampingan gasifikasi *updraft* sekam padi dan batubara kualitas rendah didapatkan hasil Tar paling tinggi pada sampel SP 200 gr : BB 0 gr sebanyak 58,75 ml, pada sampel SP 180 gr : BB 20 gr dihasilkan sebanyak 45 ml, pada sampel SP 140 gr BB 60 gr dihasilkan 32,5 ml dan pada sampel SP 100 gr : BB 100 gr dihasilkan sebanyak 22,5 ml.

Kata kunci: Gasifikasi, *Updraft*, Sekam Padi, Batubara.

*In this research have a purpose the amount of syngas produced in the process of mixing rice husk gasification with low quality coal at temperature 500 °C and to know the number of side pruduk of Tar and Char from gasification *updraft* rice husk and low quality coal at temperature 500 °C. In this research, the result of syngas on *updraft* gasification process of rice husk and low quality coal is as much as 96,62 L. The highest volume in sampel SP 200 gr: BB 0 gr equal to 29,56 L, at sampel SP 180 gr: BB 20 gr equal to 25,7 L, at SP 140 gr: BB 60 gr equal to 21.88 L and volume at least on SP 100 gr: BB 100 gr equal to 19.45L. The result of by-product of *updraft* gasification of rice husk and low quality of coal was obtained by highest tar on SP 200 gr: 0 ml of 58.75 ml, at sampel SP 180 gr: BB 20 g produced as much as 45 ml, at SP 140 gr BB 60 g produced 32,5 ml and at sampel SP 100 gr: BB 100 gr yielded as much as 22,5 m*

Keywords: Gasification, *Updraft*, Rice Husk, Coal.

PENDAHULUAN

Energi fosil adalah energi yang berasal dari fosil yang menjadi mineral terkubur dibawah bumi jutaan tahun lalu yang menghasilkan gas, batubara dan minyak bumi. Selama ini konsumsi energi fosil di Indonesia masih relatif tinggi sebesar 96 % sektor minyak bumi sebesar 48 %, batubara 30% dan gas 18%. Dalam hal ini upaya untuk menekan konsumsi energi fosil dengan memanfaatkan energi baru terbarukan masih belum berjalan sesuai dengan yang direncanakan. Berdasarkan data badan geologi (2011), batubara kualitas rendah mengandung nilai kalor yang lebih rendah dari batubara jenis lainnya dan kandungan kadar air yang sangat tinggi, hal inilah yang membuat batubara kualitas rendah hanya dimanfaatkan didalam negeri untuk kebutuhan listrik tenaga uap (Batubara Indonesia, 2008). Biomassa merupakan sumber energi baru terbarukan yang memiliki potensi yang cukup besar. Biomassa adalah bahan organik pada energi baru terbarukan, salah satu bahan organik yang mudah ditemukan ialah sekam padi. Sekam padi banyak mudah ditemukan selain itu sekam padi juga masih dijual murah dipasaran Kalimantan Selatan merupakan salah satu provinsi lumbung padi nasional dan menjadi penghasil padi nomor satu di pulau Kalimantan data Badan Pusat Statistik tahun 2016 menunjukkan bahwa produksi padi di Kalimantan Selatan sebesar 2.140.276 ton dengan luas panen 511.213 ha (BPS KALSEL, 2016).

Dari permasalahan diatas maka diperlukan teknologi yang mampu memanfaatkan sekam padi dan batubara untuk dijadikan gas mampu bakar. Teknologi ini disebut dengan gasifikasi yang menghasilkan gas mampu bakar (*syngas*) dan produk sampingan berupa Tar dan Char

Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses untuk mengubah material padat pada biomassa menjadi bahan bakar gas atau bahan baku gas kimia (*syngas*) yang sering disebut gasifikasi. (Asian Biomass Handbook, 2018). Pada proses gasifikasi adalah suatu proses untuk mengubah bahan yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar. Gasifikasi memerlukan bahan dasar yang mengandung hidrokarbon seperti biomassa dan batubara. Didalam tungku terjadi proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya proses gasifikasi akan menghasilkan gas mampu bakar dan produk sampingan berupa *tar* dan *char*. Pada gasifikasi akan dihasilkan *synthetic gas* (*syngas*) dengan komposisi, rasio dan karakteristik gas yang berbeda-beda tergantung pada bahan baku, proses, dan jenis gasifier yang digunakan. (Abdul Ghofar, dkk 2017). Biomassa padatan dapat dirubah menjadi gas mampu bakar, proses ini membutuhkan bahan tambahan untuk mendorong reaksi kimia pada proses gasifikasi. Bahan ini disebut dengan agen gasifikasi, kandungan utama dari bahan ini adalah oksigen, CO₂ diaplikasikan pada campuran dan N₂. Pada udara hanya oksigen yang mampu bereaksi karena oksigen mampu membangkitkan panas dan meningkatnya oksigen ini akan membantu menurunkan jumlah gas mampu terbakar. (Asian Biomass Handbook, 2008).

Jenis Gasifikasi

Gasifikasi dibagi menjadi dua berdasarkan arah aliran gasnya, gasifikasi *updraft* dan gasifikasi *downdraft*.

a. Updraft Gasification

Gasifikasi tipe *updraft* umumnya memiliki ciri khas yaitu pada arah aliran udara dari blower akan masuk melalui bagian bawah tungku. Kemudian gas N akan masuk melalui bagian bawah tungku untuk mendorong oksigen keluar dari tungku dimana tidak akan terjadi

proses pembakaran. Gas mampu bakar akan dikeluarkan dari atas tungku. Hasil dari proses yang berupa gas mampu bakar akan keluar dari bagian atas *gasifier* sedangkan produk sampingan dari proses gasifikasi yang berupa abu akan jatuh ke bagian bawah gasifier karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu, hal ini lah yang menyebabkan kandungan gas mampu bakar menjadi lebih bersih. Gas mampu bakar akan bergerak menuju bagian atas gasifier yang memiliki temperatur lebih rendah. Salah satu keunggulan dari tipe *updraft* ialah dapat digunakan dalam skala kecil dan arang yang dihasilkan sedikit karena terbawa oleh gas keatas, sedangkan kekurangan dari tipe *updraft* ialah tar yang dihasilkan lebih banyak.

Gambar 1 Skema Gasifikasi *updraft*

b. Downdraft Gasification

Pada gasifikasi downdraft memiliki ciri khusus yaitu arah aliran udara akan masuk melalui bagian atas tungku. Pada gasifikasi tipe ini gas N masuk melalui bagian atas gasifier untuk mendorong oksigen keluar tungku sehingga tidak akan terjadi proses pembakaran. Sementara produksi gas mampu bakar akan keluar melalui bagian bawah tungku. Kekurangan pada gasifikasi *downdraft* dimana gas yang dihasilkan kurang bersih dari pada tipe *updraft* karena kandungan char akan ikut terbawa keluar oleh gas yang terpengaruh gaya gravitasi dan abu yang keluar bersamaan dengan gas akan sulit dikendalikan.

Gambar 2 Skema Downdraft Gasification

Proses-Proses Pada Reaktor Gasifikasi

Gasifikasi ialah suatu proses dekomposisi zat kimia dengan temperatur tinggi yang dimanfaatkan untuk mendapatkan energi dari hidrokarbon yang membutuhkan proses pembakaran dengan udara yang sangat terbatas. Pada proses gasifikasi dimana molekul-molekul hidrokarbon yang mempunyai rantai panjang dan rumit akan dipecah menjadi molekul yang lebih kecil dan sederhana dalam bentuk gas. Produk sisa dalam proses gasifikasi berupa *tar* dan arang. *Tar* didapatkan dari kondensasi gas yang keluar dari tungku,

sedangkan arang adalah amapas atau sisa dari bahan dasar yang sudah mengalami pembakaran didalam tungku yang tidak berubah menjadi gas. Pada sebagian gas yang didapatkan dari proses gasifikasi akan keluar dari tungku gasifikasi dan masih mengandung air oleh karena itu masih perlu adanya proses kondensasi agar gas yang didapatkan menjadi lebih bersih.

a. Proses Pengeringan

Pada zona pengeringan biomassa dikeringkan dengan memanfaatkan energi panas dari matahari sebelum biomassa dimasukan kedalam reaktor gasifer. Pada bahan bakar padat terdapat kandungan air, kandungan air ini dapat dikurangi dengan memanfaatkan bahan dan udara yang masuk ke dalam tungku. Pada proses pengeringan asam-asam organik akan diuapkan. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100-250°C.

b. Proses Pirolisis

Proses pirolisis merupakan proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen, sehingga terjadi proses pembakaran tidak sempurna. Biomassa akan membentuk gas, *tar* dan *char* yang terjadi pada proses pirolisis. Proses pirolisis berlangsung sekitar temperatur 300 °C pada proses pirolisis produk yang dihasilkan ialah. Biomassa Char + Tar + Gas (CO₂ ; CO ; H₂O; H₂; CH₄)

c. Proses Reduksi

Kandungan *char* yang dihasilkan pada proses pirolisis tidak sepenuhnya mengandung karbon, terdapat juga kandungan senyawa kimia seperti hidrogen dan oksigen . Untuk itu, agar dihasilkan gas mampu bakar seperti hidrogen dan karbon monoksida, maka *char* tersebut harus direaksikan dengan karbon dioksida. Pada proses reduksi terjadi pada temperatur 400°C-1000 °C dan gas yang dapat terbakar hanya CO, H₂ dan CH₄ mulai terbentuk.

d. Proses Oksidasi

Proses pembakaran akan mengoksidasi kandungan hidrogen dan karbon yang terdapat dalam bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gas yang dihasilkan dari proses endotermik akan direduksi. Proses pembakaran merupakan proses terpenting dalam *gasifer*, karena pada proses pembakaran ini akan membentuk energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Pada proses ini akan dihasilkan panas, cahaya, N₂ dan gas lainnya (SO₂, CO, NO₂ dan lain-lain). Untuk melakukan reaksi pembakaran, terdapat tiga elemen penting yang saling mengisi satu sama lain yaitu panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*) dan udara. Proses pembakaran terdiri dari dua jenis yaitu pembakaran tidak sempurna dan pembakaran sempurna. Pembakaran tidak sempurna terjadi apabila unsur C yang terkandung dalam bahan bereaksi dengan O₂ dan gas yang dihasilkan seluruhnya CO₂, sedangkan Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan O₂ hanya menghasilkan CO₂, seluruh unsur H menghasilkan H₂O dan seluruh S menghasilkan SO₂. Temperatur pada zona ini berkisar antara 700-1500°C

Biomassa

Biomassa merupakan bahan biologis yang berstruktur karbon dan tersusun dari campuran kimiawi yang mengandung nitrogen, oksigen, hidrogen dan elemen-elemen lainnya. Biomassa adalah sumber daya yang dapat diperbaharui. Sekam padi jika digunakan sebagai umpan gasifikasi sekam padi memiliki keunggulan karena kadar airnya cukup rendah dan ukurannya seragam. Sekam padi juga memiliki rapat massa yang rendah, yaitu 122 kg/m³ dan

rapat massa padatan sebesar 500 kg/m³. Hasil analisis proksimat dan ultimat untuk sekam padi ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1 Analisis Proksimat dan ultimat Sekm Padi

Analisa proksimat		Analisa ulimat	
Komponen	% Massa	Komponen	% Massa
Volatil	57.06	Hidrogen	5.59
Karbon tetap	15.58	Karbon	34.92
Abu	19.52	Sulfur	0.08
Air	7.84	Nitrogen	0.34
		Oksigen	39.55
		Abu	19.52
		LHV, kJ/kg	14.807

Pada sekam padi terkandung lignin sebesar 23,16%, selulosa 32,69% dan hemiselulosa 43,86% (Eni, 2015). Pada proses gasifikasi sekam padi akan melewati proses pengeringan pada temperatur 60 °C – 134 °C sehingga kadar air pada sekam padi akan berkurang. Terjadi dekomposisi pada kandungan struktur kimia pada sekam padi ditahap pertama sampai temperatur mencapai 341 °C, dimana hemiselulosa terdegradasi yang menyebabkan terjadinya uap volatile, sehingga terputusnya rantai alifatik dan menghilangkan kandungan lilin.

Batubara

Batubara dikenal sebagai “emas hitam”, masyarakat mengenalnya sebagai batu hitam yang bisa terbakar, ahli geokimia batubara, berpendapat batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrokarbon, hidrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Klasifikasi batubara terdiri dari aspek komersial dan aspek ilmiah. Klasifikasi batubara untuk kepentingan ilmiah antara lain mencakup ganesa batubara dan *rank* nya, sedangkan untuk kebutuhan komersial antara lain nilai perdagangan dan pemanfaatannya. Secara umum klasifikasi batubara di indonesia dibagi menjadi brown coal dan hard coal (SNI 13-6011-1999, 1999). *Brown coal* (Batubara energi rendah) adalah jenis batubara dengan peringkat paling rendah, bersifat lunak, mudah diremas, mengandung air yang tinggi (10-70%), dan terdiri atas soft brown coal dan lignitic atau hard brown coal. Nilai kalorinya < 7.000 kalori/gram (dry ash free-ASTM 388-1984). Hard coal didefinisikan

sebagai semua jenis batubara yang memiliki peringkat lebih tinggi dari brown coal, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kompak, mengandung kadar air yang relatif rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak lagi, dan relatif tahan terhadap kerusakan fisik pada saat penanganan. Nilai kalorinya > 7.000 kalor/gram (dry ash free-ASTM 388-1984).

Tabel 2 Komposisi elemen dan nilai kalor dari berbagai tipe batubara

Komposisi Elemen dari Beberapa Tipe Batubara					
Jenis Batubara	Persentase Massa				
	% C	% H	% O	% H₂O	Volatile Matter %
Lignit	60-70	5-6	20-30	50-70	45 -55
Subbituminous	75-80	5-6	15-20	25-30	40 -45
Bituminous	80-90	4-5	10-15	5-10	20 -40
Antrasit	90-95	2-3	2-3	2-5	5-7

Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan jenis gasifikasi *updraft*, instalasi alat gasifikasi pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 dan bahan pada penelitian ini menggunakan biomassa sekam padi dan batubara kualitas rendah (*soubituminous*) Komposisi campuran bahan antara sekam padi dan batubara adalah sampel A sekam padi 200 gr dan batubara 0 gram, pada sampel B sekam padi 180 gram dan batubara 20 gram, pada sampel C sekam padi 140 gram dan batubara 60 gram dan pada sampel D sekam padi 100 gram dan batubara 100 gram.

1. *Thermocontroller*
2. *Thermocouple*
3. *Data logger*
4. *Tungku/furnace*
5. *Heater*
6. *Laptop*
7. *Tabung Elemeyer*
8. *Flowmeter*
9. *Urine Bag*

Gambar 3 Instalasi alat gasifikasi

Tahapan Pengujian

Campur bahan antara sekam padi dan batubara didalam wadah kemudian aduk merata antara sekam padi dan batubara, kemudian masukkan bahan ke dalam tungku, sekam padi dan batubara kualitas rendah yang sudah siap kita masukkan ke dalam tungku gasifikasi, kemudian setelah semua instalasi terpasang dengan sempurna maka masukan sekam padi dan batubara kualitas rendah kedalam tungku gasifikasi, setelah itu tutup rapat bagian atas tungku dan cek kembali apakah ada kebocoran pada tungku. Setelah dipastikan tidak terjadi kebocoran maka hidupkan sakelar pada *thermocontroler* dan secara beiringan jalankan data logger. Catatlah temperatur selama jalannya proses gasifikasi dan temperature *heater* setiap 5 menit dan catat volume gas yang dihasilkan setiap kenaikan 50 cm^3 . Jika temperatur sudah mencapai 500°C jaga temperatur tersebut agar konstan dan pastikan tidak terjadi kebocoran. Kemudian catat total hasil gas, *tar* dan *char* yang terbentuk

Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian yang diambil berupa data laju pemanasan, data hubungan temperatur terhadap waktu, data hasil volume syngas dan data produk sampingan berupa Char (arang) dan Tar. Data hasil penelitian ini akan disajikan dalam bentuk grafik dan table.

Gambar 5 Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pada sekam padi 200 gr dan batubara 0 gr.

Pada gambar 5 menunjukkan grafik hubungan temperatur terhadap waktu, dimana temperatur awal pemanasan 27°C kemudian dipanaskan hingga 120 menit. Pada grafik variasi bahan campuran sekam padi 200 gr : batubara 0 gr seiring bertambahnya waktu maka temperatur ikut meningkat dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 500°C adalah 42 menit. Kemudian temperatur berfluktuasi hingga waktu mencapai 120 menit.

Gambar 6 Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pada sekam padi 180 gr dan batubara 20 gr

Pada gambar 6 menunjukkan grafik hubungan temperatur terhadap waktu, dimana temperatur awal pemanasan 27°C kemudian dipanaskan hingga 120 menit. Pada kurva variasi bahan campuran sekam padi 180 gr : batubara 20 gr seiring bertambahnya waktu maka temperatur ikut meningkat, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 500°C adalah 36 menit. Kemudian temperatur berfluktuasi hingga waktu mencapai 120 menit.

Gambar 7 Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pada sekam padi 140 gr dan batubara 60 gr

Pada gambar 7 menunjukkan grafik hubungan temperatur terhadap waktu, dimana temperatur awal pemanasan 27°C kemudian dipanaskan hingga 120 menit. Pada grafik variasi bahan campuran sekam padi 140 gr : batubara 60 gr seiring bertambahnya waktu maka temperatur ikut meningkat, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 500°C adalah 39,33 °C/menit. Kemudian temperatur berfluktuasi hingga waktu mencapai 120 menit.

Gambar 8 Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pada sekam padi 100 gr dan batubara 100 gr.

Pada gambar 8 menunjukkan grafik hubungan temperatur terhadap waktu, dimana temperatur awal pemanasan 27°C kemudian dipanaskan hingga 120 menit. Pada grafik variasi bahan campuran sekam padi 100 gr : batubara 100 gr seiring bertambahnya waktu maka temperatur ikut meningkat, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 500°C adalah 11,82°C/menit. Kemudian temperatur berfluktuasi hingga waktu mencapai 120 menit.

Gambar 9 Grafik volume gas sekam padi dan batubara pada semua variabel.

Pada gambar 9 menunjukan volume gas yang dihasilkan lebih besar pada sekam padi 200 gr : batubara 0 gr sebesar 29,56 L, pada sekam padi 180 gr : batubara 20 gr sebesar 25,7 L, pada sekam padi 140 gr : batubara 60 gr sebesar 21.88 L, pada sekam padi 100 gr : batubara 100 gr sebesar 19.45 L.

Gambar 10 Grafik hasil Tar sekam padi dan batubara pada semua variabel

Gambar 11 Grafik hasil Char sekam padi dan batubara pada semua variabel

Pada gambar 10 Grafik hasil Tar sekam padi dan batubara pada semua variabel dan gambar 11 Grafik hasil Char sekam padi semua variabel merupakan produk sampingan yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Tar paling besar dihasilkan pada sampel SP 200 gr : BB 0 gr sebanyak 58,75 ml dan Char yang dihasilkan paling besar adalah pada sampel SP 140 : BB 60 gr sebanyak 117 gram.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisa data dari pengujian gasifikasi sekam padi dan batubara kualitas rendah dengan variasi sampel SP 200 gr : BB 0 gr, SP 180 gr BB 20 gr, SP 140 gr : BB 60 gr dan SP 100 gr BB 100 gr dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Total hasil *syngas* yang didapatkan pada proses gasifikasi *updraft* sekam padi dan batubara kualitas rendah yaitu sebanyak 96,62 L. Volume terbanyak pada sampel SP 200 gr : BB 0 gr sebesar sebesar 29,56 L, pada sampel SP 180 gr : BB 20 gr sebesar 25,7 L, pada SP 140 gr : BB 60 gr sebesar 21.88 L dan volume paling sedikit pada SP 100 gr : BB 100 gr sebesar 19.45L.
2. Hasil dari produk sampingan gasifikasi *updraft* sekam padi dan batubara kualitas rendah didapatkan hasil Tar paling tinggi pada sampel SP 200 gr : BB 0 gr sebanyak 58,75 ml, pada sampel SP 180 gr : BB 20 gr dihasilkan sebanyak 45 ml, pada sampel SP 140 gr BB 60 gr dihasilkan 32,5 ml dan pada sampel SP 100 gr : BB 100 gr dihasilkan sebanyak 22,5 ml.

DAFTAR PUSTAKA

- Adbul Ghofar, Rudy Sitorus, Erbert Ferdy Destian. 2017. Simulation And Estimation In Energy Need For Gasifier System Using Coal From South Sumatra And South Kalimantan As Raw Material. Pusat Teknologi Sumberdaya Energi Dan Indutri Kimia.
- Adimas Rangga j. 2017. Pengaruh Katalis Bentonit Terhadap Hasil Gasifikasi *Updraft* Cangkang Kelapa Sawit Pada Temperatur 550 °C, 650 °C, 750 °C. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Universitas Brawijaya.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Selatan. 2016. Survei Pertanian Produksi Tanaman Padi dan Palawija Kal-Sel. Banjarmasin. CV. Karya Bintang Muslim.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Elsevier.
- Eni .2015. Potensi Berbagai Bahan Organik Rawa Sebagai Sumber Biochar. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian. Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Jawa Barat.
- Irwandy, Arif. 2010. Batubara Indonesia. Jakarta. PT. Gramedia pustaka Utama.
- Suliono, Felix donius, Yusup Nur Rahmat. 2017. Unjuk Kerja Reaktor Gasifikasi Sekam Padi Sebagai Alat Pembuat Gas Pengganti Elpiji Pada Rumah Tangga. Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa. Politeknik Negeri Indramayu
- Susanto, H. 2005. Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam Padi 100 kW di Haurgeulis, Indramayu. Program Studi Teknik Kimia FTI-ITB.
- Syinya Yokoyama, Matsumura. 2008. *Asian Biomass Handbook. The Japan Institute Of Energy*.