

NASKAH PUBLIKASI

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMEN GASIFIKASI MENGGUNAKAN
FLUIDIZED BED GASIFIER BERBAHAN BAKAR SEKAM
PADI, SERBUK GERGAJI KAYU JATI DAN SERBUK
GERGAJI KAYU SENGON PENGHASIL SYNGAS**



**Naskah Publikasi Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk
memenuhi syarat kelulusan Strata Satu pada
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Disusun :

MUHAMMAD AKBAR RIYADI

NIM : D200 090 089

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2015

HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Naskah Publikasi Berjudul “**Studi Eksperimen Gasifikasi Menggunakan *Fluidized Bed Gasifier* Berbahan Bakar Sekam Padi, Serbuk Gergaji Kayu Jati dan Serbuk Gergaji Kayu Sengon Penghasil Syngas**” telah disetujui oleh Pembimbing dan disahkan Ketua Jurusan Teknik Mesin sebagai syarat untuk memenuhi syarat kelulusan strata satu pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Dipersiapkan oleh :

Nama : Muhammad Akbar Riyadi
NIM : D200 090 089

Disetujui pada

Hari : Kamis
Tanggal : 14 Januari 2016

Pembimbing Utama


Nur Akli, ST., M. Eng

Pembimbing Pendamping


Ir. Sartono Putro., MT

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Tri Widodo Besar Riyadi, ST., M. Sc., Ph. D

STUDI EKSPERIMEN GASIFIKASI MENGGUNAKAN *FLUIDIZED BED* GASIFIER BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI, SERBUK GERGAJI KAYU JATI DAN SERBUK GERGAJI KAYU SENGON PENGHASIL SYNGAS

Muhammad Akbar Riyadi, Nur Aklis, Sartono Putro

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura.

Email : kabarriyadi@gmail.com

ABSTRAKSI

Di Indonesia yang hampir sebagian besar wilayahnya merupakan sektor pertanian mempunyai potensi akan biomassa yang sangat melimpah salah satunya adalah sekam padi, serbuk gergaji kayu dari kayu seperti kayu jati dan sengon pemanfaatan bahan sisa produksi tersebut belum maksimal salah satu cara pemanfaatan yang bisa dilakukan dengan proses gasifikasi menggunakan fluidized bed gasifier sebagai sumber energi berkelanjutan bagi Indonesia.

Pengujian ini dimulai dengan memasukkan 10 kg pasir silika ukuran 40 mesh dan bahan bakar biomassa 5 kg yang mengalami reaksi oksidasi parsial dengan udara, oksigen, atau campurannya. Reaksi heterogen antara gas dan padatan di dalam reaktor gasifier. Reaktor Fluidized bed tersusun oleh padatan terfluidisasi sehingga padatan bergerak seiring dengan gerakan fluida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performance gasifikasi dengan metode fluidized bed gasifier.

Dari penelitian yang dilakukan jenis bahan bakar berpengaruh terhadap temperatur reaktor, temperatur pembakaran, waktu lama pendidihan air, nyala efektif dan efisiensi thermal. Didapatkan Kalor sensible pada sekam padi sebesar 603,718 Kj. Bahan bakar serbuk gergaji kayu sengon campuran sekam padi 603,676 Kj dan bahan bakar serbuk gergaji kayu jati campuran sekam padi 603,670 Kj dan Kalor laten pada bahan bakar sekam padi sebesar 975,74 Kj, bahan bakar serbuk kayu sengon campuran sekam padi sebesar 627,61 Kj dan bahan bakar serbuk gergaji kayu jati campuran sekam padi sebesar 394,63 Kj. Sedangkan untuk temperatur tertinggi pada percobaan ini yaitu pada serbuk kayu sengon campuran sekam padi sebesar 337°C. Sedangkan bahan bakar sekam padi campuran serbuk gergaji kayu jati memiliki temperatur rata-rata tertinggi 306°C dan sekam padi mencapai rata-rata tertinggi 296°C. Bahan bakar sekam padi memiliki nyala efektif 90 menit, bahan bakar serbuk kayu jati campuran sekam padi 88 menit dan serbuk kayu sengon campuran sekam padi memiliki lama nyala efektif 68 menit.

Kata kunci : Biomassa, reaktor *fluidized bed*, nyala efektif

STUDI EKSPERIMEN GASIFIKASI MENGGUNAKAN *FLUIDIZED BED* GASIFIER BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI, SERBUK GERGAJI KAYU JATI DAN SERBUK GERGAJI KAYU SENGON PENGHASIL SYNGAS

Muhammad Akbar Riyadi, Nur Aklis, Sartono Putro

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura.

Email : kabarriyadi@gmail.com

ABSTRACTION

In Indonesia, most of the region is the agricultural sector has the potential for biomass is very abundant one of which is rice husk, sawdust from wood such as jati and sengon utilization of sewage is not maximum one way use that can be done with the gasification process using a fluidized bed gasifier as a sustainable energy source for Indonesia.

Testing was started with 10 kg of silica sand insert size of 40 mesh and biomass fuels 5 kg who experienced partial oxidation reaction with air, oxygen, or mixtures thereof. Heterogeneous reactions between gases and solids in the gasifier reactor. The fluidized bed reactor is composed of a fluidized solids so that the solids move along with the movement of fluid. This study aims to determine the performance of gasification with a fluidized bed gasifier method.

From research conducted fuel types affect the reactor temperature, combustion temperatures, long time boiling water, effective flame and thermal efficiency. Sensible Heat obtained on rice husk at 603.718 Kj. Fuel wood sawdust mixture sengon 603.676 Kj rice husk and sawdust fuel jati rice husk mixture 603.670 Kj and latent heat of the fuel amounted to 975.74 Kj rice husks, sawdust sengon fuel mixture of rice husk 627.61 Kj and fuel jati sawdust rice husk mixture of 394.63 Kj. As for the highest combustion temperature in this experiment that the sengon sawdust rice husk mixture of 337 ° C. While the rice husk fuel mixture of sawdust jati has the highest average temperature of 306 ° C and rice husk highest average reached 296 ° C. Rice husk fuel has effective flame 90 minutes, the fuel mix powder jati rice husk and sawdust 88 minutes sengon mixture of rice husk have an old flame of an effective 68 minutes.

Keywords :Biomass, fluidized bed reactors, flame effective

PENDAHULUAN

Biomassa merupakan bahan organik yang didapatkan melalui proses fotosintetik pada tumbuhan baik berupa produk maupun buangan. Meliputi tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian dan kotoran ternak. Energi biomassa merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui sehingga mampu menyediakan sumber energi secara berkelanjutan. Di Indonesia yang hampir sebagian besar wilayahnya merupakan sektor pertanian mempunyai potensi akan biomassa yang sangat besar diantaranya sekam padi dan serbuk gergaji kayu dari seperti kayu jati dan sengon yang jumlahnya sangat melimpah yang hingga saat ini pemanfaatannya belum tertangani secara maksimal. Jenis biomassa tersebut menggunakan cara yang berbeda untuk mengkonversikan energi yang terkandung didalamnya untuk itu diperlukan teknologi untuk mengolah bahan limbah pertanian tersebut yang berpotensi menjadi bahan bakar alternatif yang baru dan terbarukan yang salah satunya dengan teknologi gasifikasi menggunakan *fluidized bed gasifier* sebagai sumber energi berkelanjutan bagi Indonesia.

Fluidisasi merupakan proses dimana benda partikel padatan diubah menjadi fase yang berkelakuan seperti fluida cair melalui kontak dengan gas atau cairan (Kunni dan Levenspiel 1969). Fenomena ini terjadi pada media yang disebut dengan *fluidized bed*. *fluidized bed* merupakan suatu bejana yang berisi partikel padat yang dialiri fluida dari bawah bejana. Proses fluidisasi terjadi ketika gaya *drag* dari partikel sebagai akibat dari aliran fluida yang mengalir keatas melebihi gaya gravitasi dan gaya antar partikel. (Aklis, 2013)

Metode gasifikasi menggunakan *fluidized bed* dinilai lebih

menguntungkan serta gas hasil pembakaran lebih bersih dibanding dengan pembakaran secara langsung. Namun demikian, teknologi gasifikasi masih perlu dikembangkan mengingat masih rendahnya efisiensi gasifikasi (Syamsudin dkk). Untuk itu sangat diperlukan untuk melakukan pengujian konstruksi alat produksi gas dari bahan bakar biomassa dengan cara gasifikasi menggunakan *fluidized bed gasifier* dengan variasi bahan bakar yang bertujuan untuk mendapatkan pengetahuan dan pemahaman baru tentang *fluidized bed gasifier*.

RUMUSAN MASALAH

Penelitian ini akan mengkaji bagaimana pengaruh bahan bakar terhadap kerja *fluidized bed gasifier*?

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh jenis bahan bakar terhadap kerja reaktor *fluidized bed* yang meliputi:

- a. Waktu nyala efektif produk gas.
- b. Jumlah kalor pembakaran dengan metode pendidihan air.
- c. Kualitas bahan bakar terbaik untuk digunakan pada *fluidized bed gasifier*.

TINJAUAN PUSTAKA

Syawal (2011), merancang dan membuat alat produksi gas metana berbahan bakar sampah organik. Sampah organik yang digunakan diantaranya sekam padi, tempurung kelapa, dan serbuk gergaji. Untuk menghasilkan gas dari sampah organik tersebut, menggunakan teknologi gasifikasi jenis *thermal proses gasification*. Dengan proses membakar sampah organik tersebut didalam tabung reaktor, yang berdimensi tinggi 0.87 m, diameter 0.57 m dan massa kosong 40 kg. Alat ini mampu menghasilkan gas yang bertekanan dengan bantuan blower sebagai

penyuplai udara kedalalam reaktor gasifikasi. Selanjutnya gas disalurkan menuju pipa ketabung absorsi kemudian gas disalurkan ke pipa menuju kompor gas yang sudah dimodif.

(Affendi, dkk., 2008)Melakukan pengembangan sistem pembakaran pada tungku *FBC (fluidized bed combustion)* dengan bahan bakar limbah padat (*sludge*) industri kertas dengan kapasitas pembakaran ± 15 kg/jam. Uji-coba pembakaran pada tungku *FBC*, diawali dengan pembakaran serbuk kayu yang dipakai sebagai kontrol, memberikan performansi pembakaran kontinyu pada kisaran temperatur 350 - 550°C di bagian *freeboard*(ruang bakar diatas unggun pasir), dilanjutkan dengan pembakaran limbah padat (*sludge*) industri kertas juga memberikan performansi pembakaran kontinyu pada kisaran temperatur 300 - 450°C (temperaturnya lebih rendah dari pembakaran serbuk kayu, karena nilai kalor *sludge* lebih rendah dari pada nilai kalor serbuk kayu). Hambatan yang masih terjadi adalah kontinyuitas laju alirumpun *sludge* pada *screwfeeder* me nyebabkan kapasitas bahan yang terbakar kurang terpenuhi, juga abu hasil pembakaran *sludge* banyak tertumpuk pada unggun pasir sehingga mengganggu proses pembakaran secara fluidisasi.(*Syngas research group LIPI 2008*)

(Nurman, 2011) melakukan penelitian *Fluidized Bed Combustor (FBC)* menggunakan hamparan pasir *mesh 40-50* dengan variasi masa *feeding* tempurung kelapa 1 kg, 1,25 kg, 2 kg pada kondisi kerja. Didapat hasil *feeding* terbaik adalah 2 kg dengan temperatur *bed* rata-rata sebesar 656,71°. Alat ini berfungsi mengubah energi biomassa menjadi energi panas yang dapat dimanfaatkan. Alat ini

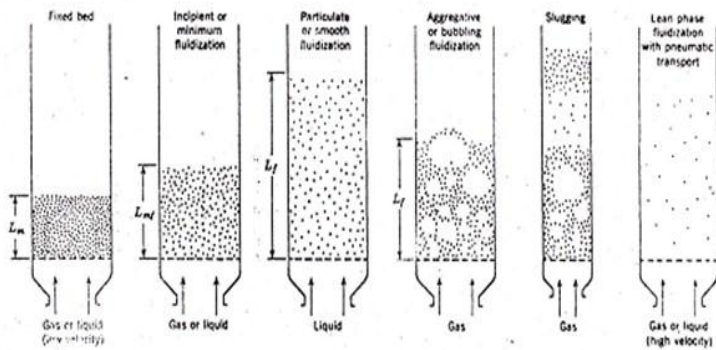
bekerja memanfaatkan hamparan pasir yang difluidisasikan menggunakan udara bertekanan hamparan pasir yang terfluidisasikan ini berfungsi sebagai sarana penyimpan dan pendistribusi panas yang baik. Temperatur pengoperasian *Fluidized Bed Combustor* berada pada 600-900° C sehingga bahan bakar dapat terbakar menjadi abu dan rendah polusi. Pasir memegang peranan penting dalam pengoperasian *Fluidized Bed Combustor (FBC)*.

DASAR TEORI

Fluidisasi

Fluidisasi adalah proses dimana benda padat halus (partikel) diubah menjadi fase yang menyerupai cair melalui kontak dengan gas atau cairan (Kunii dan Levenspiel 1969). Fenomena ini terjadi pada media yang disebut dengan *fluidized bed*. *fluidized bed* merupakan suatu bejana yang berisi partikel padat yang dialiri fluida dari bawah bejana. Proses fluidisasi terjadi ketika gaya *drag* dari partikel sebagai akibat dari aliran fluida yang mengalir keatas melebihi gaya gravitasi dan gaya antar partikel. Sebagaimana yang terlihat pada gambar 2.1, fluida dari bawah dialirkan ke atas melewati bed yang terdiri dari partikel-partikel. Pada saat kecepatan rendah, fluida hanya merembas mengisi ruang kosong antar partikel yang diam. Kondisi ini disebut dengan *fix bed*. Jika kecepatan fluida bertambah, partikel mulai terpisah dan sebagian kecil partikel terlihat bergetar dan bergerak dalam ruang yang terbatas. Fenomena ini disebut dengan *expandedbed*. Jika kecepatan fluida semakin besar, akan tercapai satu kondisi dimana seluruh partikel akan tertahan oleh aliran fluida ke atas. Di titik ini gaya gesek antara partikel dan fluida mengimbangi berat partikel, komponen

vertikal gaya tekan antar partikel yang berdekatan hilang dan *pressure drop* di setiap titik bagian dari *bed* sama dengan berat partikel dan fluida di bagian tersebut. Kondisi ini dianggap sebagai awal *fluidization* dan disebut dengan *incipiently fluidized bed* atau *bed* dalam keadaan *minimum fluidization*.



Gambar 1. Konsep Dasar Fluidisasi *Fluidized Bed*

Fluidized bed adalah sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk berupa pasir silika dan kuarsa, tujuannya agar terjadi pencampuran yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut. Pencampuran yang konstan antara partikel-partikel mendorong terjadinya perpindahan panas yang cepat serta pembakaran sempurna. *Fluidized bed* umumnya berbentuk silindris tegak dengan kerangka baja yang dilapisi bahan tahan api, berisi hamparan pasir dan distributor untuk fluidisasi udara.

Keuntungan fluidisasi

Beberapa aspek keunggulan yang dimiliki *fluidized bed*. Karena sifat-sifat partikel padat yang menyerupai sifat fluida cair dengan viskositas tinggi, metode pengontakan fluidisasi memiliki beberapa keunggulan proses fluidisasi, antara lain:

1. Sifat *bed* yang menyerupai fluida memungkinkan adanya aliran zat padat secara kontinu dan memudahkan pengontrolan.

2. Kecepatan pencampuran yang tinggi membuat reaktor selalu berada dalam kondisi isothermal sehingga memudahkan pengendaliannya.
3. Sirkulasi butiran-butiran padat antara dua unggun fluidisasi memungkinkan pemindahan jumlah panas yang besar dalam reaktor.
4. Perpindahan panas dan kecepatan perpindahan massa antara partikel cukup tinggi.
5. Perpindahan panas antara unggun terfluidakan dengan media pemindah panas yang baik memungkinkan pemakaian alat penukar panas yang memiliki luas permukaan kecil. (Sumber : Panduan Pelaksanaan Laboratorium Instruksional I/II, Departemen Teknik Kimia ITB)

Karena keunggulan tersebut, fluidisasi banyak dikembangkan untuk proses industri, misalnya untuk proses *catalic cracking*, pembakaran batu bara, gasifikasi batu bara, insenerasi limbah padat, pelapisan permukaan logam, pengering dan lain sebagainya.

Pasir Silika

Pasir silika adalah salah satu mineral yang umum ditemukan di kerak kontinen bumi. Mineral ini memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silika trigonal terkristalisasi (silikon dioksida, SiO_2), (Sumber Wikipedia). Kandungan dalam pasir silika mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O , berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis 2,65, titik lebur 17.150°C , bentuk kristal hexagonal, panas sfesifik 0,185, dan konduktivitas panas 12°C – 1000°C . Sebagai bahan baku utama digunakan dalam industri gelas kaca, semen, tegel, mosaik keramik, bahan baku fero silikon, silikon carbide bahan

abrasit (ampelas dan sand blasting). Sedangkan sebagai bahan ikutan, misal dalam industri cor, industri perminyakan dan pertambangan, bata tahan api (refraktori). Cadangan pasir kuarsa terbesar terdapat di Sumatera Barat, Kalimantan Barat, Jawa Barat, Sumatera Selatan, Kalimantan Selatan, dan Pulau Bangka dan Belitung. (<http://www.tekmira.esdm.go.id/>)

Sekam Padi

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian (*serealia*) yang berupa lembaran kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam (endospermium dan embrio). Saat ini pemanfaatan sekam padi masih sangat sedikit, misalnya digunakan dalam proses pembakaran batu bata dan genting. Pada proses penggilingan gabah padi, sekam akan terpisah dari butir beras. Dari proses penggilingan padi, biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak 8-12%, dan beras giling 50-63% dari bobot awal gabah. Sekam padi memiliki kerapatan jenis *bulk density* 125 kg/m³, dengan nilai kalor dari 1 kg sekam padi sebesar 3300 kcal.

Tabel. 1 Komposisi kimia sekam padi berdasarkan DTC-IPB

Karbon	Hidrogen	Oksigen	Silika
1,33 %	1,54%	33,64%	16,98%

Selain itu, sekam padi mempunyai panjang rata-rata sekitar 8-10 mm dengan lebar 2-3 mm dan tebal 0,2 mm. Karakteristik lain yang dimiliki sekam padi adalah kandungan zat *volatile matter* yang tinggi, yang berkisar antara 60-80%.

(<http://www.digilib.unimed.ac.id/public>)

Serbuk Gergaji Kayu Sengon

Kayu sengon merupakan jenis tumbuhan yang banyak dijumpai di Indonesia dan dibudidayakan oleh petani untuk dijadikan bahan baku dalam pelbagai macam produk olahan

kayu yang beragam, mulai dari bahan bangunan, kerajinan, dan bahan penunjang pekerjaan konstruksi. Industri pengolahan kayu sengon banyak dijumpai di pelbagai daerah di Jawa Tengah diantaranya Kabupaten Wonosobo (Kec. Sapuran dan Kec. Kepil) dan Kabupaten Temanggung (Kec. Pringsurat), di daerah tersebut kayu sengon dijadikan sebagai bahan bangunan untuk dijadikan komoditi ekspor di negara Cina dan Jepang. Meskipun demikian, permasalahan pengolahan limbah serbuk gergaji kayu sengon pasca produksi belum terpikirkan secara mendalam. Hal ini dikarenakan pada studi awal menemukan bahwa limbah pengolahan disetiap industri mencapai 2-5m³/hari yang belum terolah secara maksimal oleh pemilik industri pengolahan kayu, biasanya hanya dibuang begitu saja atau dibakar untuk menghilangkan limbah tersebut sehingga perlu dipikirkan kembali mengenai pengolahan limbah hasil proses produksi tersebut (Saputra dkk 2012).

Tabel. 2 Uji proksimat kayu sengon Saputra dkk, 2012

Sampel	Kadar Air %	Kadar Volatail %	Kadar Abu %	Kadar Karbon Terikat %	Nilai Kalor Kal/gram
1	8.525	89.111	1.861	0.503	4202,57
2	8.031	90.284	1.502	0.183	4270,90
3	7.916	90.624	1.415	0.045	4270,43
Rata-rata	8.158	90.006	1.593	0.243	4247.967

Serbuk Gergaji Kayu Jati

Kayu jati memiliki nama botani *tectona grandits L.f.* Kayu jati merupakan jenis tumbuhan yang banyak dijumpai di Indonesia dan dibudidayakan oleh petani untuk dijadikan bahan baku dalam pelbagai macam produk olahan kayu yang beragam, mulai dari bahan bangunan, kerajinan, dan bahan penunjang pekerjaan konstruksi. Serbuk gergaji adalah serbuk yang berasal dari kayu

yang dipotong dengan gergaji. Meskipun demikian, permasalahan pengolahan limbah serbuk gergaji kayu jati pasca produksi belum terpikirkan secara mendalam, biasanya hanya dibuang begitu saja atau dibakar untuk menghilangkan limbah tersebut sehingga perlu dipikirkan kembali mengenai pengolahan limbah hasil proses produksi.

Tabel. 3 Sifat-sifat kayu jati menurut (S Wirjo Martono,1991)

No	Sifat	Satuan	Nilai
1	Berat Jenis	Kg/cm ³	0,62-0,75
2	Kadar Abu	%	1,4
3	Kadar Silika	%	0,4
4	Serabut	%	66,3
5	Nilai Kalor	Cal/gram	5081
6	Kerapatan	Cal/gram	0,44

Gasifikasi

Gasifikasi merupakan sebuah proses dimana bahan bakar padat mengalami perubahan secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang dibutuhkan lebih rendah dari kebutuhan yang digunakan untuk proses pembakaran.

Tahapan Proses Gasifikasi

1. Tahap Pengeringan

Terjadi akibat pengaruh panas, biomassa mengalami pengeringan pada temperatur sekitar 100°C.

2. Tahap Pirolisis

Bila temperatur mencapai 250°C, biomassa mulai mengalami proses pirolisis yaitu perekahan molekul besar menjadi molekul-molekul kecil akibat pengaruh temperatur tinggi. Proses ini berlangsung sampai temperatur 500°C. Hasil proses pirolisis ini adalah arang, uap air, uap tar, dan gas-gas.

3. Tahap Reduksi

Pada temperatur di atas 600°C arang bereaksi dengan uap air dan karbon dioksida. Untuk menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida sebagai komponen utama gas hasil.

4. Tahap Oksidasi

Sebagian kecil biomassa atau hasil pirolisis dibakar dengan udara untuk menghasilkan panas yang diperlukan oleh ketiga tahap tersebut di atas. Proses oksidasi (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200°C, yang berguna untuk proses perekahan tar lebih lanjut.

Jenis reaktor gasifikasi berdasarkan arah aliran :

1. *Updraft Gasifier*

Gasifikasi aliran berlawanan, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas keatas pada proses tersebut.

2. *Downdraft Gasifier*

Gasifikasi aliran searah, arah aliran padatan dan gas sama-sama ke bawah dimana unggun biomassa turun sendiri karena gaya gravitasi dan aliran gas juga turun melewati unggun tersebut.

3. *Crossdraft Gasifier*

Udara dialirkan kedalam ruang bakar dari lubang arah samping yang saling berhadapan dengan lubang pengambilan gas sehingga pembakaran dapat terkonsentrasi pada satu bagian saja dan berlangsung secara lebih banyak dalam suatu satuan waktu tertentu.

Kalor

Kalor adalah energi yang merambat atau berpindah karena ada perbedaan suhu atau temperatur. Kalor juga dapat didefinisikan sebagai energi panas yang dimiliki oleh suatu zat.. Kalor bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Ketika suatu benda melepas panas ke sekitarnya dapat dituliskan $Q < 0$, sedangkan ketika benda menyerap panas dari sekitarnya dapat dituliskan $Q > 0$.

Kalor pada suhu 25 °C - 100 °C (kalor sensible air) dapat dicari dengan persamaan:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

Q = kalor sensible air (KJ)

m = massa air mula-mula (Kg)

C_p = kalor jenis air (4,200 KJ/Kg. °C)

ΔT = T₂ - T₁ (perubahan suhu °C)

Kalor pada saat air mendidih (kalor laten air), dapat dicari dengan persamaan:

$$Q = m_{uap} \cdot h_{fg} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

Q = kalor laten air (KJ)

m_{uap} = massa uap (Kg)

h_{fg} = enthalpi penguapan (KJ/Kg)

Massa uap air dapat dicari :

$$m_{uap} = m_a - m_b \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

m_a = massa air mula-mula (Kg)

m_b = massa air akhir (Kg)

Kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran sekam padi dapat dicari dengan persamaan:

$$Q = W_f \cdot LHV \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

Q = kalor biomassa (KJ)

W_f = massa bahan bakar (Kg)

LHV = nilai kalor terendah bahan bakar (KJ/Kg)

Sehingga efisiensi thermal reaktor dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

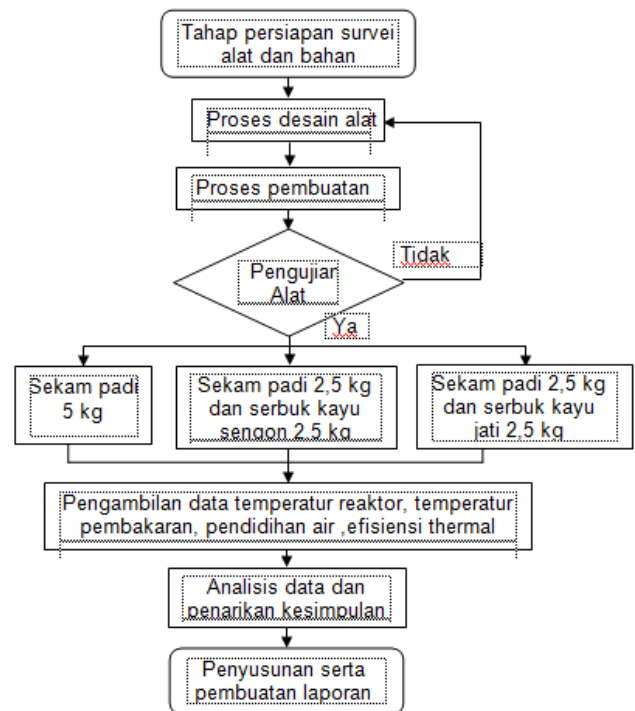
$$\eta_{th} = \frac{\text{Kalor yang terpakai}}{\text{Kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana:

Kalor yang terpakai = kalor sensible air + kalor laten air

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian erat kaitannya dengan alat, prosedur serta desain penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan tahapan penelitian ini mengalir sesuai alur dibawah ini pada penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir agar lebih mudah dipahami.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Keterangan :

Dari gambar diagram alir diatas dapat dijelaskan proses penelitian:

1. Persiapan survei alat dan bahan
Dilakukan dengan mencari informasi dari penelitian sebelumnya' baik berupa buku, jurnal, sumber internet dan sumber lainnya yang mendukung dalam perancangan sistem sesuai dengan landasan teori.
2. Perencanaan desain alat
Dalam tahapan perencanaan desain alat ini berisi tentang sistem dan desain yang akan dibuat pada reaktor *fluidized bed* yaitu :
 - a) Reaktor fluidisasi dibuat dari pipa bekas. ukuran 16 inchi memiliki tinggi kolom 910 mm pada bagian atasnya diberi tutup reaktor untuk menghindari kebocoran.
 - b) Pada bagian bawah reaktor gasifikasi fluidisasi dibagi menjadi 2 bagian : 1. Bagian plenum yang digunakan untuk memanaskan

pasir silika. 2. Bagian saluran udara masuk dipasang anemometer yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara dari kompresor menuju ruang bakar serta pada bagian ini dibuat lubang untuk manometer yang digunakan untuk mengukur tekanan udara yang masuk reaktor.

c) Pada bagian tengah reaktor gasifikasi fluidisasi dibagi menjadi 2 bagian : 1. Bagian *bed* yang berfungsi sebagai wadah pasir silika serta saluran udara masuk saat proses fluidisasi. 2. Bagian ruang bakar yang digunakan untuk membakar bahan bakar dan tempat terjadinya proses gasifikasi secara fluidisasi.

d) Pada bagian paling atas terdapat penutup reaktor dan saluran keluar gas hasil pembakaran . Pada bagian saluran keluar terdapat 2 pipa yang digunakan untuk mengeluarkan asap putih jika pembakaran selesai serta mengeluarkan asap cair (*liquid smoke*).

3. Pembuatan alat

Pembuatan reaktor dikerjakan dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

4. Pengujian reaktor *fluidized bed*

Pengujian reaktor *fluidized bed* ini dilakukan setelah selesai dibuat dan dioperasikan dengan variasi bahan bakar dengan kecepatan udara 4 m/s.

5. Pengambilan data

Proses dimana saat pengujian reaktor *fluidized bed* dari awal sampai akhir pengoperasian pengujian reaktor *fluidized bed* yang meliputi sebagai berikut :

a. Temperatur reaktor, temperatur air, lama nyala efektif, volume air, efisiensi thermal pada semua jenis pengujian bahan bakar.

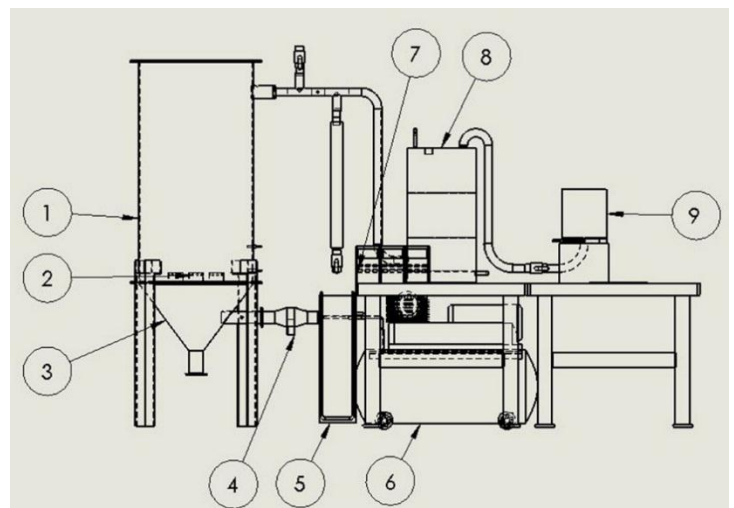
6. Analisis data dan penarikan kesimpulan

a. Analisa data perbedaan temperatur reaktor terhadap waktu pada semua jenis bahan bakar saat melakukan pengujian.

b. Analisa data lama nyala efektif api, temperatur air, titik didih air dan efisiensi thermal pada semua jenis bahan bakar terhadap waktu pada percobaan *fluidized bed gasifier*.

7. Penyusunan dan pembuatan laporan.

Instalasi Pengujian



Gambar 3. Instalasi Pengujian

Alat dan bahan penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Reaktor

Berfungsi sebagai tempat meletakkan pasir dan umpan bahan bakar sehingga proses fluidisasi terjadi didalam reaktor ini

2. Distributor

berfungsi untuk mengalirkan udara dari kompresor secara seragam pada keseluruhan penampang reaktor sehingga hamparan pasir yang ditopang oleh distributor tersebut terjadi fluidisasi.

3. Plenum
berfungsi sebagai saluran udara menuju distributor pada umumnya berbentuk kerucut dan terletak dibawah distributor. Udara dialirkan dari kompresor dan diteruskan oleh pipa saluran udara kemudian aliran udara melewati plenum menuju distributor
4. Anemometer
Berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran udara yang masuk kedalam ruang bakar dari kompresor
5. Manometer
digunakan untuk mengetahui tekanan udara didalam burner
6. Kompresor
berfungsi untuk mengalirkan udara dan berfungsi untuk menghembuskan udara ke reaktor sehingga mengangkat bahan agar terjadi proses fluidisasi
7. Thermokopel Reader
berfungsi untuk mengukur perubahan temperatur didalam ruang bakar
8. Tangki absorber
Berfungsi untuk mengurangi senyawa TAR yang dibawa oleh gas dari pengujian pembakaran bahan bakar serta berfungsi untuk memurnikan gas sebelum terbakar.
9. Kompor Modifikasi
kompur gas elpiji buatan pabrik yang telah dimodifikasi digunakan sebagai media pembakar gas.
10. Timbangan Analog
Berfungsi untuk menakar kebutuhan bahan bakar dan untuk mengukur massa hamparan pasir yang akan digunakan dalam proses pengujian
11. Gelas Ukur
Berfungsi untuk menakar kebutuhan air sebelum dan sesudah proses pendidihan dalam pengujian ini
12. Stopwatch digital
Berfungsi untuk mencatat waktu saat pengambilan data.

13. Thermometer
Alat ini digunakan untuk mengetahui perubahan temperatur air setiap 2 menit

Bahan Penelitian

1. Sekam padi
2. Serbuk gergaji kayu sengon
3. Serbuk gergaji kayu jati
4. Pasir silika

Tempat yang digunakan untuk penelitian

Tempat yang digunakan untuk penelitian di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Prosedur penelitian

Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan reaktor *Fluidized bed gasifier* dengan variasi bahan bakar yang kami laksanakan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta untuk memperoleh hasil yang baik maka harus dilakukan prosedur penelitian sebagai berikut :

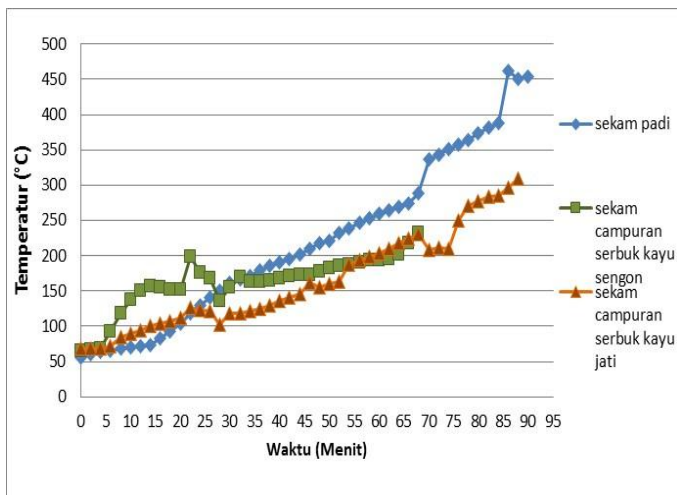
1. Periksa kelengkapan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Menakar kebutuhan bahan bakar penelitian 5 kg untuk sekam padi. Sedangkan untuk penelitian berikutnya serbuk gergaji kayu sengon campuran sekam padi 50% massa bahan bakar dan serbuk gergaji kayu jati campuran sekam padi 50% massa bahan bakar.
3. Memasang 2 titik termokopel reader pada dinding reaktor gasifier.
4. Memasukkan pasir silika ukuran *mesh* 40 sebanyak 10 kg. Sebagai *bed* untuk pemerataan panas dan terjadinya fluidisasi.
5. Membuat api untuk menaikkan temperatur pasir silika pada temperatur 27- 45 °C langkah selanjutnya masukkan bahan bakar.
6. Menghidupkan kompresor sebagai media penggasifikasi dengan

mengatur kecepatan awal 1 m/s dan maksimum sebesar 4 m/s.

7. Tutup rapat tabung reaktor gasifier kemudian membuka kran/valve untuk mengurangi tekanan didalam reaktor.
8. Mencatat waktu ketika bahan bakar dimasukkan kedalam reaktor sampai gas yang dihasilkan tidak dapat dapat dinyalakan.
9. Mengambil data kenaikan temperatur pada reaktor, temperatur gas, temperatur pembakaran, lama nyala efektif, dan distribusi temperatur air setiap 2 menit.
10. Mendidihkan air sebanyak 2 liter.
11. Melakukan percobaan yang sama untuk penelitian berikutnya yaitu serbuk gergaji kayu jati dan serbuk gergaji kayu sengon dengan campuran sekam padi.
12. Bersihkan alat dan rapikan kembali.

HASIL DAN PEMBAHASAAN

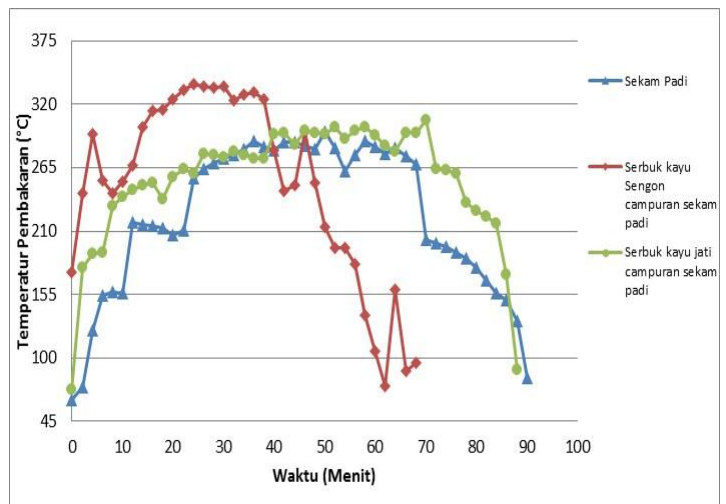
Grafik temperatur reaktor 3 bahan bakar



Gambar 4. Grafik perbandingan temperatur reaktor tiga bahan bakar. Pada gambar diatas menunjukkan grafik perbandingan temperatur reaktor terhadap waktu pada 3 variasi bahan bakar dari gambar diatas dapat diketahui temperatur reaktor yang

tertinggi rata-rata didapatkan pada sekam padi memiliki nilai temperatur tertinggi sebesar 454°C sedangkan sekam padi campuran serbuk gergaji kayu jati mencapai temperatur tertinggi 310°C dan sekam padi campuran kayu sengon memiliki nilai temperatur tertinggi 232°C. Dari perbandingan grafik menunjukkan hasil bahwa temperatur reaktor tertinggi pada pembakaran sekam padi sebesar 454°C.pada reaktor gasifikasi *fluidized bed* akan mempengaruhi waktu pendidihan air.

Grafik temperatur pembakaran terhadap waktu 3 variasi bahan bakar

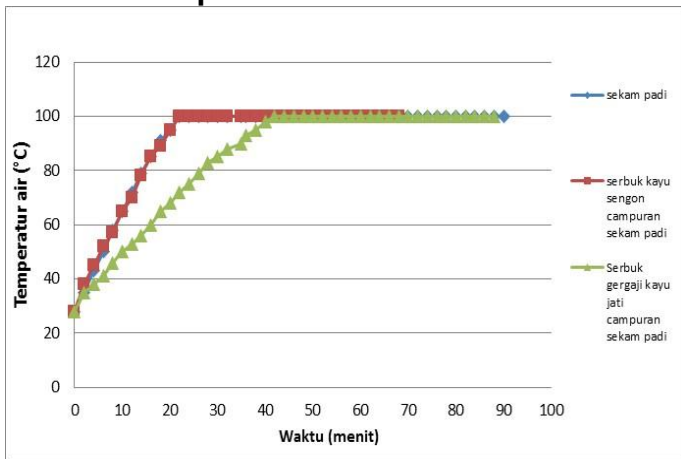


Gambar 5. Grafik temperatur pembakaran terhadap waktu 3 bahan bakar.

Pada gambar grafik diatas menunjukkan temperatur pembakaran terhadap waktu, tertinggi rata-rata didapatkan pada bahan bakar sekam padi campuran serbuk gergaji kayu sengon mencapai temperatur sebesar 337°C lama nyala efektif 68 menit sedangkan bahan bakar sekam padi campuran serbuk gergaji kayu jati mencapai temperatur 306°C lama nyala efektif 88 menit dan bahan bakar sekam padi mencapai temperatur 296°C lama nyala efektif 90 menit. Dari perbandingan

nyala efektif bahan bakar yang digunakan menunjukkan hasil bahwa nyala efektif bahan bakar sekam padi memiliki lama nyala efektif paling lama selama 90 menit.

Perbandingan temperatur air terhadap waktu 3 variasi bahan bakar



Gambar. 6 grafik perbandingan Temperatur air terhadap waktu 3 variasi bahan bakar.

Menunjukkan waktu pendidihan air untuk gasifikasi menggunakan *fluidized bed* dengan bahan bakar sekam padi dapat mendidihkan air sebanyak 2 liter dalam waktu 22 menit, bahan bakar serbuk kayu sengon campuran sekam padi dapat mendidihkan dalam waktu 22 menit. Sedangkan untuk bahan bakar Serbuk kayu jati campuran sekam padi dapat mendidihkan air dalam waktu 44 menit. Urutan waktu pendidihan air tercepat pada percobaan ini adalah sekam padi dan serbuk kayu sengon campuran sekam padi selama 22 menit, sedangkan serbuk kayu jati dengan campuran sekam padi selama 44 menit.

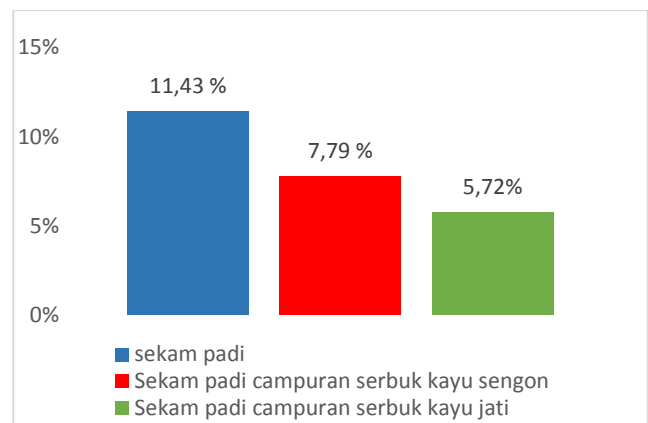
Tabel 4. perhitungan kalor sensibel air

Bahan bakar	M air (Kg)	Cp KJ/Kg°C	AT (°C)	Qs (Kj)
Sekam padi	2	4,1925	72	603,718
Sekam padi campuran kayu sengon	2	4,1922	72	603,676
Sekam padi campuran kayu Jati	2	4,1929	72	603,780

Tabel 5. perhitungan kalor laten air

Bahan Bakar	Muap rata rata (kg)	hfg (Kj/Kg)	QL (Kj)
Sekam padi	0,42	2323,2	975,74
Sekam padi campuran kayu sengon	0,27	2324,5	627,61
Sekam padi campuran kayu Jati	0,17	2321,4	394,63

EFISIENSI TERMAL



Gambar. 7 grafik efisiensi termal

Dari gambar diketahui bahwa efisiensi thermal setiap percobaan berbeda pada percobaan menggunakan bahan bakar 5 kg sekam padi efisiensi thermal sebesar 11,43% sedangkan percobaan dengan menggunakan bahan bakar sekam padi campuran serbuk gergaji kayu sengon 50% massa didapatkan efisiensi sebesar 7,79% dan percobaan dengan menggunakan sekam padi campuran serbuk gergaji kayu jati 50% didapatkan efisiensi sebesar 5,72%. Sehingga efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan dengan menggunakan bahan bakar sekam padi didapatkan efisiensi sebesar 11,43%. Hal ini dipengaruhi oleh nyala efektif yang lebih lama, massa uap yang diuapkan pun lebih besar, sehingga kalor yang digunakan untuk mendidihkan air sebanyak 2 liter lebih besar.

Tabel 6. efisiensi thermal reaktor

Kalor yang terpakai (Kj)	Kalor Bahan bakar (Kj)	η_{th} efisiensi (%)
1579,46	13813,8	11,43 %
1231,29	15799,5	7,79 %
998,41	17438,8	5,72 %

KESIMPULAN

Dengan variasi bahan bakar berupa sekam padi, serbuk gergaji kayu sengon campuran sekam padi dan serbuk gergaji kayu jati campuran sekam padi didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Jenis bahan bakar berpengaruh terhadap temperatur reaktor, waktu lama pendidihan air dan nyala efektif, efisiensi thermal. Didapatkan Kalor sensible pada sekam padi sebesar 603,718 Kj. Bahan bakar serbuk gergaji kayu sengon campuran sekam padi 603,676 Kj dan bahan bakar serbuk gergaji kayu jati campuran sekam padi 603,670 Kj dan Kalor laten pada bahan bakar sekam padi sebesar 975,74 Kj, bahan bakar serbuk kayu sengon campuran sekam padi sebesar 627,61 Kj dan bahan bakar serbuk gergaji kayu jati campuran sekam padi sebesar 394,63 Kj. Sedangkan untuk temperatur tertinggi pada percobaan ini yaitu pada serbuk kayu sengon campuran sekam padi sebesar 337°C. Sedangkan bahan bakar sekam padi campuran serbuk gergaji kayu jati memiliki temperatur rata-rata tertinggi 306°C dan sekam padi mencapai rata-rata tertinggi 296°C
- Waktu pendidihan air bahan bakar sekam padi dan serbuk kayu sengon campuran sekam padi dengan waktu 22 menit, sedangkan bahan bakar sekam padi campuran serbuk gergaji kayu jati mendidihkan air selama 42 menit. Bahan bakar sekam padi

memiliki nyala efektif selama 90 menit sedangkan bahan bakar serbuk kayu jati campuran sekam padi memiliki nyala efektif 88 menit dan serbuk kayu sengon campuran sekam padi memiliki lama nyala efektif 68 menit.

- Berdasarkan keterangan kesimpulan diatas bahan bakar sekam padi sebanyak 5 kg relatif cukup baik untuk digunakan pada *fluidized bed gasifier*

DAFTAR PUSTAKA

- Aklis. Nur, 2013. *Pengaruh Perbedaan Jumlah Lubang Pada Distributor Udara Terhadap Karakteristik Gelembung Pada Bubbling Fluidized Bed Dengan Beberapa Jenis Partikel Yang Berbeda*. Universitas Gajah Mada
- Danang Dwi Saputro, Widi Widayat, Rusiyanto, Harwin Saptoadi, Fauzun 2012. *Karakterisasi Briket Dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon Dengan metode Cetak Panas* Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III ISSN: 1979-911X Yogyakarta, 3 November 2012A-394.
- Feny Indrarini Wulandari 2011. *Pengaruh penambahan serbuk gergaji kayu jati (tectona Grandits L.f), pada paduan tanah liat dan abu sampah terhadap kualitas batu bata merah dikabupaten karanganyar*. Perpustakaan.uns.ac.id. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Muhammad Affendi, Mamat, Sugiyatno. *Pengembangan Sistem Pembakaran Pada FBC Berbahan Bakar Limbah Padat Indusrtri Kertas*. Syngas Resarch Group PPF -LIPI (Diakses 10 September 2015).
- Nugroho. Rizki, 2013. *Pengembangan Desain dan Pengoperasian Alat Produksi Gas Metana dari Pembakaran Sampah Organik*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nurman Alwin, 2011. *Studi Karakteristik Pembakaran Biomassa Tempurung Kelapa pada Fluidized bed Combustor Universitas Indonesia Dengan Partikel Bed Berukuran Mesh 40-50*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Panduan Pelaksanaan Laboratorium Instruksional I/II. *MODUL 2.13 Fluidisasi*. Departemen Teknik Kimia ITB (diakses pada 11 september 2015).
- Susanto Heri. *Tahapan Proses Gasifikasi*. Program studi teknik kimia fakultas teknologi industri ITB Jl. Ganesa No. 10 Bandung diakses tanggal 22-12-2014 (15:01)
- Samsudin Anis, Karnowo, Wahyudi, Wara Dyah PR. *Studi Eksperimen Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Bakar Gasifikasi Penghasil Syngas*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Syawal Ibnu, 2011. *Rancang Bangun dan Pengujian Alat Produksi Gas Metana Dari Sampah Organik Dengan Variasi Bahan Sekam Padi, Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji Kayu*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.