

**UJI UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK BERPENGERAK
MOTOR BAKAR BERBAHAN BAKAR SYNGAS DARI
GASIFIKASI SEKAM PADI UAP-UDARA**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :
Khamdan Mujadi
I1407027

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2012
commit to user

Surat penugasan



commit to user

HALAMAN PENGESAHAN

UJI UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK BERPENGERAK MOTOR BAKAR BERBAHAN BAKAR SYNGAS DARI GASIFIKASI SEKAM PADI UAP-UDARA

Disusun oleh

Khamdan Mujadi
I 1407027

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Zainal Arifin, S.T, M.T.
NIP. 197303082000031001

Dr. techn. Suyitno, M.T.
NIP. 197409022001121002

Telah dipertahankan dihadapan Tim dosen penguji pada hari Kamis tanggal 6 Desember 2012

- 1. Wibowo, S.T, M.T.
NIP. 196904251998021001
- 2. Wibawa Endra Juwana, S.T, M.T.
NIP. 197009112000031001

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir



Didik Djoko Susilo, S.T., M.T.
NIP. 07203131997021001

Wahyu Purwo Raharjo, S.T, M.T
NIP. 197202292000121001

commit to user

PERSEMBAHAN

*Kepada mereka yang telah berjasa, kepada mereka pula aku persembahkan karya ini.
Mereka adalah :*

Allah SWT

Segala yang kualami adalah kehendak-Mu, ya Allah, Tuhan semesta alam, hanya kepada-Mu aku memohon, hanya kepada-Mu aku beriman, dan hanya kepada-Mu aku berserah diri.

Nabi Muhammad Shalallahu 'Alaihi Wassalam

Manusia terbaik dimuka bumi ini, uswatun khasanah, penyempurna akhlak, sollawat serta salam semoga selalu tercurah kepadanya, keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang istiqomah sampai akhir zaman.

Bapak, Ibu, Kakak, dan Adik Tercinta

Terima kasih atas segala dukungan dan kasih sayang serta cinta yang tak pernah putus. Kasih sayang kalian tak akan pernah kulupakan sepanjang hidupku. Semoga Allah selalu memberikan nikmat, rezeki yang cukup, serta mengampuni segala dosa-dosa kalian, Amin.

Semua Mahasiswa Teknik Mesin UNS

Terima kasih untuk semuanya.

Dosen dan Karyawan Teknik Mesin UNS

Tanpa anda semua, tidak ada yang bisa saya lakukan.

commit to user

ABSTRAK

Uji Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Berpenggerak Motor Bakar Berbahan Bakar Syngas dari Gasifikasi Sekam Padi Uap-UdaraKhamdan Mujadi

I 1407027

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta
+6285647732489
Email : khamdan_mujadi@yahoo.com

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui uji unjuk kerja dan ongkos energi pembangkit listrik dengan bahan bakar *syngas* dari hasil proses gasifikasi. Reaktor gasifikasi yang digunakan bertipe *updraft* dengan bahan bakar sekam padi dan agen gasifikasi berupa uap-udara serta pemanas listrik sebagai sumber panasnya. Bahan baku sekam padi dimasukkan ke dalam reaktor dengan laju 5 kg/jam. Laju udara gasifikasi diatur sebesar 0,00083 m³/s, dan variasi uap berbanding udara sebesar 0,25, 0,5, 0,75, dan 1 pada suhu uap 400 dan 500°C. *Syngas* dikondensasi sebelum ditampung pada tempat penampungan. *Syngas* sebagai hasil proses gasifikasi digunakan sebagai bahan bakar motor generator. Motor bakar yang dipakai adalah *engine* Suzuki Carry 970 cc dengan jumlah silinder empat buah. Generator menggunakan tipe satu fasa dengan variasi beban listrik sebesar 2500, 5000, 7500, dan 10000 Watt. Hasil penelitian ini menunjukkan penambahan uap pada proses gasifikasi dapat meningkatkan kandungan hidrogen pada *syngas*. *Syngas* dengan kandungan hidrogen yang tinggi dapat meningkatkan nilai efisiensi pembangkit listrik. Nilai tertinggi kandungan hidrogen sebesar 18,61% pada variasi rasio uap-udara 0,5 dengan temperatur uap 500°C. Nilai efisiensi tertinggi mencapai 24,35% dan konsumsi bahan bakar (sfc) sebesar 0,002757 kg/kWh dengan ongkos energi sebesar Rp. 6500 per kWh pada pembebanan 7500 Watt.

Kata Kunci : Pembangkit listrik, gasifikasi uap-udara, sekam padi, ongkos energi

ABSTRACT

**Performance Test of Combustion Engine Power Plant Fueled With Sygas
From Steam-Air Gasification of Rice Husk****Khamdan Mujadi**

I 1407027

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering Sebelas Maret University
Surakarta, Indonesia
+6285647732489
Email : khamdan_mujadi@yahoo.com

This study aims to determine the performance test and energy costs of power plants with producer-gas fuel from the gasification process. The reactor type used was updraft gasification with rice husk as the media and steam-air as the agent while electric heater as the heat source. The raw material of rice husk was fed into the reactor at a rate of 5 kg/h. The flow rate of air gasification was set at 0.00083 m³/s, the ratio of steam to air was 0.25, 0.5, 0.75, and 1, and steam temperature was 400 and 500°C. Sygas was condensed before flowed to the gas bag. Sygas as a result of the gasification process was used as a fuel for internal combustion engine to drive a generator. The combustion engine used was Suzuki Carry engine of 970 cc with four cylinders. The generator used was 1 phase with power load of 2500, 5000, 7500, and 10000 Watt. The results of this study showed the addition of steam to the gasification process increased the hydrogen content in the sygas. The sygas with a high hydrogen content improved the efficiency of the power generation. The highest content of hydrogen was 18.61% found in the steam-air ratio of 0.5 with steam temperature of 500°C. The highest efficiency reached was 24,35% and the fuel consumption (sfc) was 0.002757 kg/kWh with the energy cost was Rp. 6500 per kWh at the load of 7500 Watt.

Keyword : Power plant, steam-air gasification, rice husk, energy cost

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhannahuwata'alla yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Uji Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Berpenggerak Motor Bakar Berbahan Bakar *Syngas* dari Gasifikasi Sekam Padi Uap-udara” ini dengan baik.

Laporan ini disusun dan dilakukan sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Dengan selesainya laporan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya kepada penulis.
2. Bapak Didik Joko Susilo, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Bapak Zainal Arifin ST., MT., selaku pembimbing pertama skripsi dan juga pembimbing akademis atas bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan studi dan skripsinya di Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak Dr.techn. Suyitno, M.T., selaku pembimbing kedua yang telah turut serta memberikan bimbingan yang berharga bagi penulis.
5. Seluruh pengajar, staf administrasi, dan laboran di Jurusan Teknik Mesin UNS, yang telah turut mendidik penulis hingga menyelesaikan studi S1.
6. Bapak H. Abunator dan Ibu Hj. Ilyatun sebagai orang tua yang selalu memberikan dukungan dalam kondisi apapun sehingga penulis dapat terus bersemangat dalam menghadapi segala kesulitan selama masa studi.
7. Mbak Wiwit, Mbak Ifa, Adik Ismi, om, tante dan ponakan-ponakan penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam menempuh pendidikan di Universitas Sebelas Maret Surakarta.

commit to user

8. Teman-teman di Laboratorium *Biofuel* (mas_Ter toharudin, ST, mas aji, mas darmanto, bombi, Ocky, bandriyo, imam saputra, sutarmo, huda, sanuria, kinas, dian, arief, pak arief ST, pak imam ST, pak mirza ST, pak agus ST, pak bayu ST, dan pak luqman ST) yang selalu solid dan harmonis.
9. Teman-teman Tim Futsal D'Jump FC (Ocky "kirun", Agung "Bagiyo", Hery "Celeng", Sukma, Agus "Kenthus", Bagus "Koko", Fais, Wisnu, boyol) yang semakin solid.
10. Teman-teman 2007 NR semoga tetap "Satu Komando....!!
11. Teman-teman mahasiswa khususnya jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu pelaksanaan dan penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka penulis mengharap kritik dan saran dari berbagai pihak untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi ilmu pengetahuan dan kita semua.

Surakarta, Desember 2012

Penulis

commit to user

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Surat Peugasan.....	ii
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Abstrak.....	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Perumusan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Gasifikasi	6
2.3 <i>Gasifier</i>	7
2.4 Pengayaan Hidrogen pada Proses Gasifikasi Biomasa.....	8
2.5 Efisiensi Pembangkit Listrik.....	9
2.6 <i>Specific Fuel Consumption (sfc)</i>	10
2.7 Ongkos Energi.....	11
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Tempat Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	13
3.3 Skema penelitian	15
3.4 Prosedur Penelitian	15
3.5 Analisa Data.....	16
3.6 Diagram Alir Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18

4.1 Efisiensi <i>Thermal</i> Motor Generator	19
4.2 <i>Specific Fuel Consumption (sfc)</i>	20
4.3 Ongkos Energi Pembangkit Listrik.....	22
BAB V PENUTUP.....	25
5.1 Kesimpulan	25
5.2 Saran.....	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN.....	28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram tahapan proses gasifikasi	7
Gambar 3.1 <i>Gasifier</i>	13
Gambar 3.2 Skema Penelitian.....	15
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 4.1 Efisiensi <i>Thermal</i> yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar <i>syngas</i> biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 400°C.....	19
Gambar 4.2 Efisiensi <i>Thermal</i> yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar <i>syngas</i> biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 500°C.....	19
Gambar 4.3 Sfc yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar <i>syngas</i> biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 400°C ..	20
Gambar 4.4 Sfc yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar <i>syngas</i> biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 500°C ..	21
Gambar 4.5 Ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh pada gasifikasi dengan suhu uap 400°C.....	22
Gambar 4.6 Ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh pada gasifikasi dengan suhu uap 500°C.....	22

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Analisis <i>proximate</i> dan <i>ultimate</i> sekam padi	14
Tabel 4.1 Kandungan H ₂ dan CO pada tiap variasi pengujian.....	18
Tabel 4.2 Perbandingan biaya yang dibutuhkan pembangkit listrik untuk menghasilkkan listrik pada efisiensi tertinggi	23



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara agraris yang menghasilkan produk pertanian dan kehutanan yang melimpah tiap tahunnya. Dari sektor pertanian, sekam padi merupakan salah satu biomasa yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi terbarukan. Sekam merupakan limbah penggilingan padi yang jumlahnya mencapai 20-23 % dari gabah (Rahmat, 2006) yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia dan kurang dimanfaatkan sehingga banyak yang menjadi sampah. Jika produksi padi tahun 2010 sebesar 66,41 juta ton gabah kering giling (GKG) (BPS, 2011), maka jumlah sekam yang dihasilkan lebih dari 13,28 juta ton. Sekam padi mempunyai kandungan energi (14,5 MJ/kg), massa jenis sekitar 110 kg/m^3 , dan kadar abu 20% (Suyitno, 2009).

Untuk memanfaatkan energi biomasa terutama sekam padi secara efektif diperlukan teknik atau cara yang salah satunya adalah gasifikasi dengan agen udara yang akan menghasilkan *syngas* sebagai bahan bakar (Tewari, dkk., 2001). Deny Kristiyono juga melakukan penelitian unjuk kerja generator motor bakar berbahan bakar *syngas* dengan agen gasifikasi berupa udara (Kristiyono, 2011). 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. Dilihat dari nilai torsi yang dihasilkan pada pengujian, efisiensi mesin dengan *syngas* menurun pada pembebanan di atas 6000 Watt. Hal ini dikarenakan *syngas* dari hasil gasifikasi agen udara memiliki LHV (*lower heating value*) yang rendah. Kandungan N_2 pada udara yang mencapai 76% menjadi salah satu alasan yang dapat mempengaruhi nilai kalor *syngas*. Oleh karena itu untuk meningkatkan kualitas gas, dapat dilakukan gasifikasi dengan penambahan agen *steam* yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan H_2 sebagai salah satu cara menaikkan nilai kalor *syngas*.

1.2 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada:

1. Biomasa yang digunakan adalah sekam padi dari penggilingan padi dengan kadar air sebesar 10-12% dan mengabaikan jenis dan ukuran limbahnya.
2. Laju pemanasan *gasifier* dikontrol pada daya 4,4 kW.
3. Proses pembersihan *syngas* menggunakan kondensor.
4. Motor bakar yang digunakan adalah mesin Suzuki Carry 970 cc tahun 1986 dengan jumlah silinder empat buah.
5. Generator listrik yang digunakan adalah tipe satu fasa berkapasitas 12 kVA.

1.3 Perumusan Masalah

1. Bagaimana unjuk kerja pembangkit listrik berpengerak motor bakar 970 cc berbahan bakar *syngas* dari gasifikasi sekam padi uap dan udara?
2. Berapa ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik dari generator dengan penggerak motor bakar berbahan bakar *syngas*?

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui efisiensi dan konsumsi bahan bakar pembangkit listrik berpengerak motor bakar 970 cc berbahan bakar *syngas* dari gasifikasi sekam padi dengan agen gasifikasi berupa uap dan udara.
2. Mengetahui ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik dari generator dengan penggerak motor bakar berbahan bakar *syngas*.

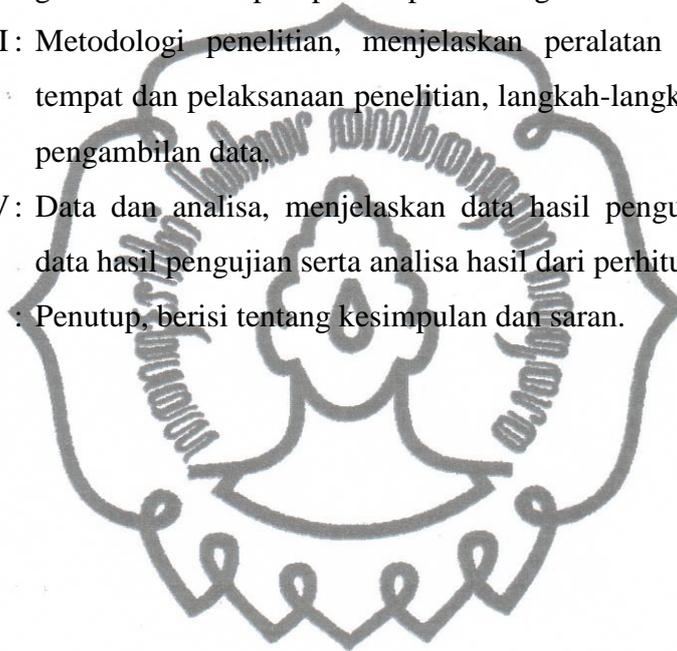
Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memanfaatkan limbah sekam padi untuk pembangkit listrik.
2. Dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.
3. Dengan penambahan agen uap pada reaksi gasifikasi diharapkan dapat meningkatkan kandungan hidrogen dalam *syngas*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- BAB I : Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, batasan masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
- BAB II : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan proses gasifikasi serta tipe-tipe dari peralatan gasifikasi.
- BAB III : Metodologi penelitian, menjelaskan peralatan yang digunakan, tempat dan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah percobaan dan pengambilan data.
- BAB IV : Data dan analisa, menjelaskan data hasil pengujian, perhitungan data hasil pengujian serta analisa hasil dari perhitungan.
- BAB V : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian pada percobaan yang berhubungan dengan penggunaan *syngas* dalam mesin penyalaaan bunga api telah dilakukan tahun 2001 (Tewari, Subrahmanyam dan Babu, 2001). Percobaan dilakukan dengan mesin diesel satu silinder yang terkonversi pada mesin penyalaaan bunga api yang digabungkan dengan model dinamometer elektrik. *Gasifier* tipe *downdraft* dengan bahan bakar arang telah digunakan untuk menghasilkan *syngas*. Setelah pendinginan dan pembersihan, *syngas* dimasukkan ke dalam karburator gas tipe venturi, dimana udara dan gas dipastikan telah tercampur secara tepat sebelum memasuki ruang bakar. Percobaan pada mesin terkonversi dilakukan pada perbandingan kompresi tertentu. Percobaan ini memberi hasil yang memuaskan dari konversi mesin diesel menjadi model penyalaaan bunga api untuk pengoperasian *syngas*. Desain karburator gas juga sangat memuaskan untuk merealisasikan tujuan awal. Mesin terkonversi dioperasikan dengan 20% bahan bakar bensin dan 40% bahan bakar *syngas*. Efisiensi *thermal* yang dihasilkan berkisar antara 24% - 28% untuk pengoperasian dengan bahan bakar bensin, dan 18% - 22% untuk pengoperasian *syngas*. Kandungan emisi karbon dioksida kurang dari 1% per volume dan emisi hidrokarbon dapat diabaikan dari hasil percobaan pada seluruh putaran mesin dan perbandingan kompresi.

Penelitian mengenai prediksi kinerja mesin dan kandungan oksida nitrat dari mesin pengapian busi (SI) dengan simulasi pembakaran multi-zone telah dilakukan tahun 2008 (Rakopoulos dan Michos, 2008). Model ini divalidasi terhadap data eksperimen dari mesin empat silinder dengan *turbocharger* dan dilengkapi sistem pendingin. Mesin dijalankan dengan bahan bakar *syngas*. *Syngas* adalah bahan bakar alternatif yang mengandung gas-gas mampu bakar seperti hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), metana (CH_4), dan kandungan yang lain mengandung gas yang tidak mudah terbakar. Sekarang ini *Syngas*

diidentifikasi sebagai pengganti bahan bakar fosil yang menjanjikan dalam pengembangan mesin ramah lingkungan. Simulasi ini dilakukan untuk memprediksi kandungan oksida nitrat pada emisi, karena pembentukan oksida nitrat sangat bergantung pada temperatur. Keunggulan model *multi-zone* dari *two-zone* ditunjukkan dalam pandangan yang lebih realistis dalam memprediksi emisi oksida nitrat bila dibandingkan dengan data eksperimen yang tersedia.

Adela Khor, Changkook Ryu, dkk. melakukan penelitian gasifikasi biomassa untuk menghasilkan gas yang kaya H₂ dan CO menggunakan udara, uap atau O₂ sebagai agen reaksi. Percobaan dari produksi hidrogen dilakukan pada reaktor gasifikasi skala laboratorium dengan media uap dan udara yang dipanaskan terlebih dahulu. Arang digunakan sebagai bahan bakar, dan suhu reaktor dijaga pada temperatur 750-960°C oleh alat pemanas. Percobaan dilakukan dengan menggabungkan antara keseimbangan dan model kinetika untuk meramalkan keseimbangan komposisi, laju konversi, dan profil temperatur. Produksi gas tergantung pada rasio media gasifikasi, kandungan gas hasil gasifikasi berupa H₂ (17-28 vol%), CO (5-11vol%) dan CO₂ (18-21vol%) membentuk gas sintesa (Adela Khor, 2006).

Penelitian tentang gasifikasi dengan media uap terhadap arang serbuk gergaji kayu pinus selama 15 menit dilakukan pada variasi temperatur 600-850°C. Penelitian dilakukan dengan variasi laju uap 0-0,357 gr/menit untuk setiap gram biomasa (Yan, dkk., 2010). Dari hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa dengan temperatur gasifikasi yang tinggi dan penggunaan uap sebagai media gasifikasi dengan ukuran yang tepat akan menghasilkan gas kering dengan jumlah yang lebih banyak dan efisiensi konversi karbon yang lebih tinggi. Dapat disimpulkan bahwa temperatur yang lebih tinggi memberikan kontribusi terhadap peningkatan hidrogen secara signifikan. Selain itu, jumlah uap yang tepat juga sangat meningkatkan kandungan hidrogen dan efisiensi konversi karbon. Namun jumlah uap yang berlebihan akan mengurangi jumlah gas dan akan menurunkan efisiensi konversi karbon. Nilai tertinggi gas kering sebesar 2,44 m³/kg, dan jumlah hidrogen tertinggi 57,07 mol/kg serta efisiensi konversi karbon 95,78%

dicapai pada temperatur 850°C dan pada laju aliran uap 0,165 g/menit untuk setiap gram biomasa arang.

Penelitian dengan menggunakan campuran hidrogen dan metana pada mesin penyalan bunga api telah dilakukan tahun 2001 (F. Moreno, 2012). Pengujian dilakukan pada variasi kecepatan dengan waktu pengapian yang sama. Persentase hidrogen yang diuji mencapai 50% dari jumlah volume metana. Sistem injeksi bahan bakar telah dimodifikasi untuk setiap campuran bahan bakar dan ekuivalen rasio. Nilai efisiensi termal dan emisi terbaik berada pada campuran hidrogen 30% dan metana 70%.

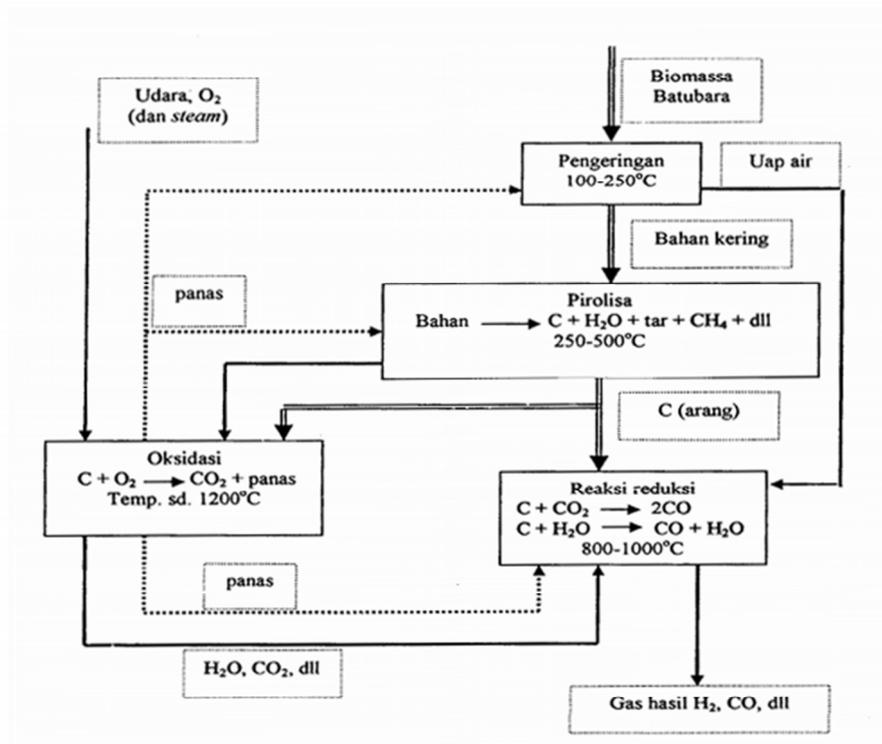
Penelitian gasifikasi biomassa yang mana dapat menghasilkan panas dan listrik dengan efisiensi tinggi telah dilakukan tahun 2001 (Rauch Reinhard, 2001). Reaktor gasifikasi dihubungkan dengan mesin untuk menghasilkan tenaga listrik dan panas. Gasifier bertipe *fluidized bed* dengan media gasifikasi berupa uap. Nilai kalor mencapai 12 MJ/m³ dengan kadar tar rendah. Sebuah pendingin dan dua tahap sistem pembersihan gas memastikan bahwa mesin mendapat gas dingin dan bersih. *Gasifier* telah dijalankan selama 9700 jam operasi dan dihubungkan pada mesin berbahan bakar *syngas* selama 7100 jam operasi. Keuntungan dari karakteristik *syngas* yaitu kandungan nitrogen rendah, dan kandungan hidrogen tinggi. Efisiensi pembangkit listrik mencapai 25,2%.

2.2 Gasifikasi

Gasifikasi dapat didefinisikan sebagai pembentukan gas mampu bakar. Dari hasil reaksi kimia bahan bakar padat dengan media gasifikasi (udara, uap air, oksigen maupun CO₂) pada temperatur tinggi. Proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat dan melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat.

Proses gasifikasi terdiri dari dua proses utama, yaitu proses pirolisis yang melepaskan komponen volatil dari bahan bakar pada temperatur dibawah 600°C. Produk samping dari tahap ini tidak diuapkan dan disebut arang. Pada tahap kedua proses gasifikasi, terjadi reaksi antara karbon dengan udara atau oksigen murni yang akan menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) serta gas

metan (CH_4). Adapun reaksi kimia pada proses gasifikasi secara umum ditunjukkan pada gambar 2.1 (Herri Susanto, 2005).



Gambar 2.1 Diagram tahapan proses gasifikasi.

2.3 Gasifier

Gasifier atau disebut juga reaktor adalah alat yang digunakan sebagai tempat terjadinya proses gasifikasi. Di *gasifier* inilah bahan bakar dibakar dengan api dan sedikit udara agar terjadi proses gasifikasi. Menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan, gasifikasi yang terbaik hasilnya adalah dengan menggunakan lambda (λ) 0,3. Konstruksi *gasifier* juga turut memberikan peran yang sangat penting untuk menghasilkan proses gasifikasi yang baik.

Ada beberapa tipe *gasifier* yang sering digunakan untuk proses gasifikasi. Berdasarkan aliran oksigen dan bahan bakar yang masuk, *gasifier* dibedakan menjadi empat tipe yaitu :

- *Updraft Gasifier*
- *Downdraft Gasifier*

- *Crossdraft Gasifier*
- *Fluidized Bed Gasifier*

Selama proses gasifikasi, terdapat beberapa tahapan proses, yaitu: (Suyitno, 2011)

- a) Tahap pemanasan dimana temperatur padatan naik sampai sebelum terjadi proses pengeringan.
- b) Tahap pengeringan dimana terjadi pelepasan uap air dari padatan.

Reaksinya :



- c) Tahap pemanasan lanjut dimana temperatur padatan naik kembali sampai sebelum terjadi proses devolatilisasi.
- d) Tahap devolatilisasi dimana volatil dalam padatan keluar sampai tersisa arang. Pada tahap ini komposisi *char* dan volatil tergantung dari bahan bakar yang digunakan.

Reaksinya adalah;



Volatil dapat terdiri dari gas-gas H_2O , H_2 , N_2 , O_2 , CO_2 , CO , CH_4 , H_2S , NH_3 , C_2H_6 , dan hidrokarbon tidak jenuh (*acetylene, olefins, aromatik, tar*).

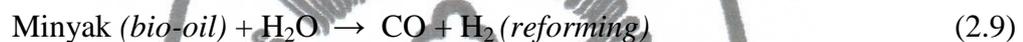
- e) Tahap gasifikasi.
- f) Tahap pembakaran arang (terjadi jika masih terdapat udara yang tersisa).

2.4 Pengayaan Hidrogen pada Proses Gasifikasi Biomasa

Biomasa dapat digunakan untuk menghasilkan hidrogen dalam dua cara yaitu dengan proses gasifikasi langsung atau dengan pirolisis untuk menghasilkan cairan minyak untuk *reforming*. Proses gasifikasi biomasa secara langsung mirip dengan proses gasifikasi batubara. Proses tersebut dilakukan dalam tiga tahap. Pertama, biomasa diolah dalam *gasifier* dengan hembusan oksigen atau hembusan udara untuk menghasilkan campuran *syngas* kotor terdiri dari gas hidrokarbon, hidrogen, CO , CO_2 , tar, uap air, arang sisa dan abu yang tertinggal di *gasifier*. Kemudian, arang mengalami proses gasifikasi yang bereaksi dengan oksigen, uap,

dan hidrogen. Seperti dalam proses gasifikasi batubara, tahap gasifikasi diikuti oleh *shift reaction* dan pemurnian.

Cara yang kedua adalah dengan mengubah biomasa menjadi *bio-oil* melalui proses yang disebut pirolisis. Pirolisis adalah proses endoterm untuk dekomposisi termal biomasa yang dilakukan pada temperature 450-550°C. *Bio-oil* mengalami reaksi *steam reforming* dengan menggunakan katalis berbasis nikel pada temperatur 750-850°C, diikuti dengan proses *shift reaction* untuk mengkonversi CO menjadi CO₂ (McHugh, 2005). Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah:



Contoh reaksi keseluruhannya adalah:



Uap sebagai media gasifikasi akan memicu proses secara keseluruhan melalui reaksi endotermik (membutuhkan panas) uap-karbon untuk membentuk hidrogen dan karbon monoksida dalam tahap gasifikasi uap. Dengan peningkatan rasio uap/biomasa, karbon yang tak terbakar semakin mengecil. Artinya bahwa hidrogen yang dihasilkan memiliki porsi yang lebih besar daripada karbon monoksida. Sehingga porsi tersebut akan mempengaruhi hasil reaksi yang lainnya dalam proses gasifikasi uap.

Sedangkan media oksigen yang dipasok ke dalam *gasifier*, akan bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar dan mengakibatkan pembakaran yang mengoksidasi karbon dan hidrogen yang terdapat dalam bahan baku secara eksotermik (melepaskan panas). Hasil reaksi tersebut adalah CO, CO₂ dan H₂O.

2.5 Efisiensi Pembangkit Listrik

Efisiensi pembangkit listrik adalah perbandingan energi yang dihasilkan pembangkit listrik dengan energi yang digunakan untuk membangkitkan listrik. Pada pembangkit listrik berpengerak motor bakar adalah ukuran pemanfaatan

commit to user

konsumsi bahan bakar pada motor untuk dijadikan daya efektif dari pembangkit listrik.

$$\eta_{\text{pembangkit listrik}} = \frac{N_e}{G_f \cdot Q_c} \times 100 \% \quad (2.12)$$

Keterangan :

N_e = Daya efektif (Watt)

G_f = Jumlah bahan bakar yang di pergunakan (kg bahan bakar/jam)

Q_c = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg bahan bakar)

Pada pembangkit listrik tenaga motor bakar, daya efektif didefinisikan sebagai perkalian tegangan listrik dengan arus listrik yang dihasilkan generator.

$$N_e = V \cdot I \quad (2.13)$$

Keterangan :

N_e = Daya efektif (Watt)

V = Tegangan yang dihasilkan generator (Volt)

I = Arus yang dihasilkan generator (A)

2.6 *Specific Fuel Consumption (sfc)*

Konsumsi bahan bakar spesifik menyatakan banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi mesin per jam untuk setiap daya yang dihasilkan (Heywood, 1988). Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang lebih rendah menyatakan efisiensi yang lebih tinggi. Jika dalam suatu pengujian mesin diperoleh data mengenai penggunaan jumlah bahan bakar (kg bahan bakar) dan dalam waktu satu jam diperoleh tenaga yang dihasilkan (Watt), maka pemakaian bahan bakar spesifik dihitung sebagai berikut:

$$sfc = \frac{G_f}{N_e} \quad (2.14)$$

Dimana :

sfc = pemakaian bahan bakar spesifik (kg bahan bakar/kWh)

G_f = Jumlah bahan bakar yang di gunakan (kg bahan bakar/jam)

N_e = Daya efektif (Watt)

commit to user

2.7 Ongkos Energi

Ongkos energi adalah biaya yang dibuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh. Dalam pembangkit listrik berpengerak motor bakar dengan bahan bakar *syngas*, biaya yang dibutuhkan adalah biaya investasi alat dan biaya operasi. Biaya investasi alat dihitung dari pembuatan rektor gasifikasi. Biaya operasi gasifikasi dihitung dari biaya pekerja, biaya bahan baku dan biaya listrik yang dibutuhkan selama proses gasifikasi.

Harga listrik yang dihasilkan pembangkit listrik dihitung berdasarkan biaya kebutuhan *syngas* per jam dibagi dengan energi yang dihasilkan generator.

$$\text{Biaya listrik per kWh} = (H_{pg} \cdot G_f) / (N_e \cdot t) \quad (2.15)$$

Harga *syngas* diperoleh dari biaya operasi selama proses gasifikasi dibagi dengan masa *syngas* yang dihasilkan.

$$\text{Harga syngas } (H_{pg}) = \frac{\text{Biaya Operasi per jam } (B_o)}{\text{Masa syngas per jam } (m_{pg})} \quad (2.16)$$

Biaya operasi diperoleh dari harga sekam padi sebagai bahan bakar gasifikasi, biaya pekerja, dan biaya listrik yang digunakan dalam proses gasifikasi seperti penggunaan blower, motor pada *screw*, dan pemanas reaktor.

$$B_{\text{operasi}} = ((H_{sk} \cdot \square_{sk} \cdot t) + (B_{\text{pekerja}} \cdot J_{\text{pekerja}}) + (P_{\text{screw}} \cdot LS \cdot t) + (P_{\text{blower}} \cdot LS \cdot t) + (P_{\text{pemanas}} \cdot LS \cdot t) + (P_{\text{uap}} \cdot LS \cdot t) + (P_{\text{kompresor}} \cdot LS \cdot t)) \quad (2.17)$$

Keterangan :

- H_{pg} = Harga *syngas* per kg (Rupiah)
- m_{pg} = Masa *syngas* per jam (kg)
- B_{operasi} = Biaya operasi (Rupiah)
- B_{pekerja} = Biaya pekerja per jam (Rupiah)
- J_{pekerja} = Jumlah pekerja
- H_{sk} = Harga Sekam Padi per kg (Rupiah)
- \square_{sk} = Kebutuhan bahan baku sekam (kg/Jam)

P_{screw} = Daya screw (kW)

P_{blower} = Daya blower (kW)

P_{pemanas} = Daya pemanas reactor (kW)

$P_{\text{kompresor}}$ = Daya kompresor (Watt)

P_{uap} = Daya pemanas uap (Watt)

L_S = Harga listrik per kWh (Rupiah)

t = Waktu gasifikasi (Jam)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian uji unjuk kerja generator-motor bakar 970 cc berbahan bakar *syngas* dari gasifikasi sekam padi ini antara lain:

a. *Gasifier*

Gasifier yang digunakan tipe *updraft gasifier* dengan pemanas eksternal. Pemanas terbuat dari kawat nikelin yang dililitkan pada dinding reaktor. Gasifikasi menggunakan uap sebagai agen yang dihasilkan dari boiler. Bahan baku gasifikasi diumpankan melalui atas reaktor secara kontinu dengan *screw konveyor* yang diputar dengan motor listrik. Panjang reaktor 70 cm dengan diameter luar 25 cm.



Gambar 3.1 *Gasifier*

commit to user

b. Biomasa sekam padi

Biomasa sekam padi digunakan sebagai bahan utama untuk membuat *syngas* yang nantinya dipakai sebagai bahan bakar motor bakar yang akan diuji. Sekam padi didapat di penggilingan padi yang terdekat dengan tempat penelitian dengan mengabaikan jenis dan ukurannya.

Tabel 3.1. Analisis *proximate* dan *ultimate* sekam padi (Jangsawang, dkk 2007).

Kadar air %	Proximate analysis (%dry)			Ultimate analysis (%dry)						LHV (MJ/kg)
	Volatile	FC	Abu	C	H	O	N	S	Cl	
8,2	64,19	21,46	14,38	42,54	4,99	37,75	0,2	0,04	0,1	14,2

c. Kondensor

Kondensor adalah alat penukar kalor yang berfungsi mengkondensasi air dan tar yang terkandung pada *syngas*.

d. Blower

Blower digunakan sebagai alat penyuplai udara pada *gasifier* dan sebagai alat penghisap *syngas*. Untuk *blower* yang berfungsi sebagai penghisap dilakukan sedikit modifikasi agar tidak terjadi kebocoran *syngas*. *Blower* yang digunakan tipe electric blower 3 inchi dengan rpm maksimum mencapai 3600.

e. Anemometer

Digunakan untuk mengetahui kecepatan udara yang masuk reaktor gasifikasi. Anemometer yang digunakan tipe Krisbow KW06-562.

f. Timbangan digital

Timbangan digunakan untuk mengukur bobot sekam padi dan bobot sisa arang atau abu gasifikasi. Timbangan digital yang digunakan tipe TIF9020A Slimline.

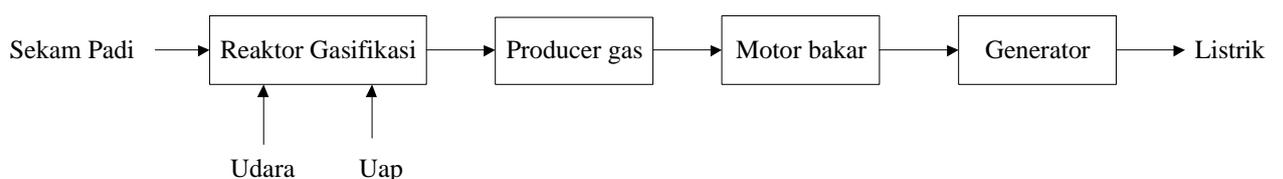
g. *Thermoreader* dan *thermocouple*

Digunakan dalam pengukuran temperatur uap masuk reaktor, temperatur bahan uji, dan temperatur *syngas* yang keluar dari reaktor. *Thermoreader* yang dipakai bermerk autonics dengan tipe TCN4S, dan *thermocouple* yang digunakan tipe K dengan panas maksimum 1300°C.

- h. Satu unit H₂ dan CO *gas analyzer*
Digunakan untuk mengukur kandungan gas H₂ dan CO dalam *syngas*. Gas H₂ diukur dengan sensor tipe T GS6812 dan gas CO diukur dengan sensor tipe TGS4160.
- i. *Stopwatch*
Digunakan untuk merekam waktu selama pengujian. Stopwatch yang digunakan tipe CTO3246.
- j. Motor Bakar
Motor bakar menggunakan Engine Suzuki Carry 4 silinder kapasitas 970 cc buatan tahun 1986 yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik.
- k. Generator Listrik
Generator yang digunakan untuk membangkitkan listrik menggunakan generator AC tipe satu fasa dengan kapasitas 12 kVA.

3.3 Skema penelitian

Secara umum skema penelitian “Uji Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Berpenggerak Motor Bakar Berbahan Bakar *Syngas* dari Gasifikasi Sekam Padi Uap-udara” ditampilkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

Langkah awal proses gasifikasi dilakukan dengan menyalakan pemanas listrik pada reaktor hingga suhu reaktor mencapai 650°C. Setelah reaktor mencapai suhu yang diinginkan kemudian memasukan sekam dengan laju pemasukan 5 kg/jam. Disamping itu juga mengatur laju kebutuhan udara masuk dari kompresor dengan laju 0,00083 m³/s dan laju aliran uap dengan variasi rasio

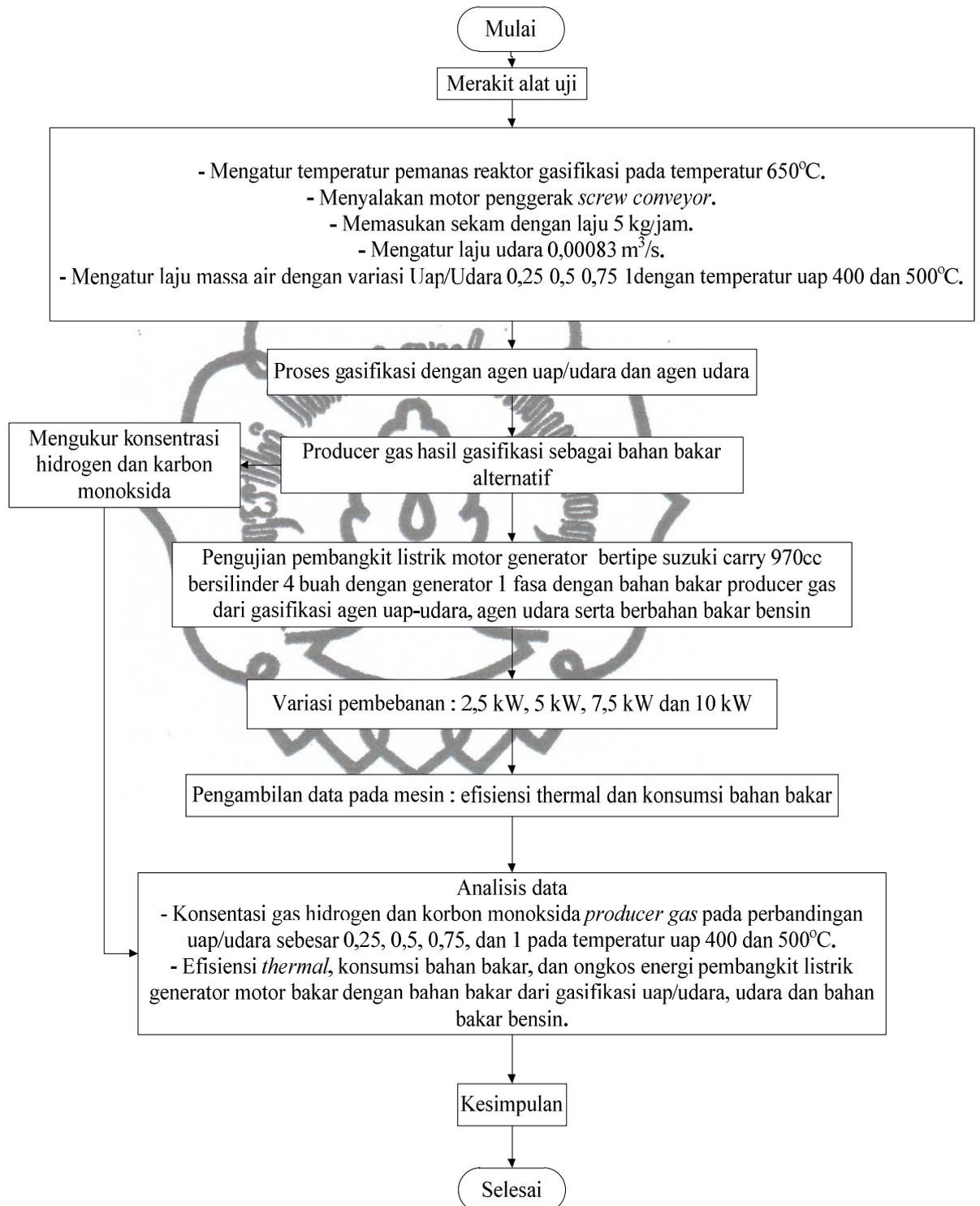
uap/udara 0,25, 0,5 0,75, 1 pada suhu 400°C dan 500°C. Kemudian menghisap *syngas* dari reaktor dengan menggunakan *blower* untuk dialirkan kedalam kondensor. Setelah gas keluar dari kondensor kemudian mengecek *syngas* yang dihasilkan dengan cara menyulutkan api pada gas. Jika berhasil terbakar, maka *syngas* ditampung pada plastik tampungan dan siap digunakan sebagai bahan bakar motor bakar. Setelah tampungan penuh kemudian menyiapkan alat pengujian kadar hidrogen dan kadar karbon monoksida untuk pengambilan data kandungan kadar hidrogen dan karbon monoksida.

Proses kedua adalah proses penggunaan *syngas* sebagai bahan bakar mesin Suzuki carry 970 cc. Mula-mula mesin dipanaskan menggunakan bahan bakar bensin selama 5 menit. Selama proses pemanasan mesin, mempersiapkan alat-alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data, dan mempersiapkan beban listrik pada generator dengan variasi 2500, 5000, 7500, dan 10000Watt. Setelah pemanasan selesai, kemudian menghidupkan motor bakar dengan bahan bakar *syngas* dari gasifikasi uap-udara dan gasifikasi udara serta bahan bakar bensin. Setelah motor bakar berhasil dihidupkan, mulai melakukan pengambilan data meliputi laju aliran udara dan *syngas* yang masuk ke motor bakar, daya, tegangan, arus, serta putaran mesin yang dihasilkan oleh motor bakar berbahan bakar *syngas* dan bensin. Pengambilan data dilakukan dengan 4 kali variasi beban yang dibutuhkan yaitu 2500, 5000, 7500, dan 10000 Watt.

3.5 Analisa Data

Dari data yang sudah diperoleh pada pengambilan sebelumnya, maka dapat dilakukan analisa data untuk mengetahui efisiensi dan konsumsi bahan bakar pembangkit listrik tenaga motor bakar berbahan bakar *syngas* dengan agen uap-udara, agen udara serta motor berbahan bakar bensin. Analisa kedua dilakukan untuk mengetahui berapa biaya produksi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik dengan tenaga penggerak dari motor bakar berbahan bakar *syngas* dari gasifikasi sekam padi uap-udara, agen udara serta motor bakar berbahan bakar bensin.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.

commit to user

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

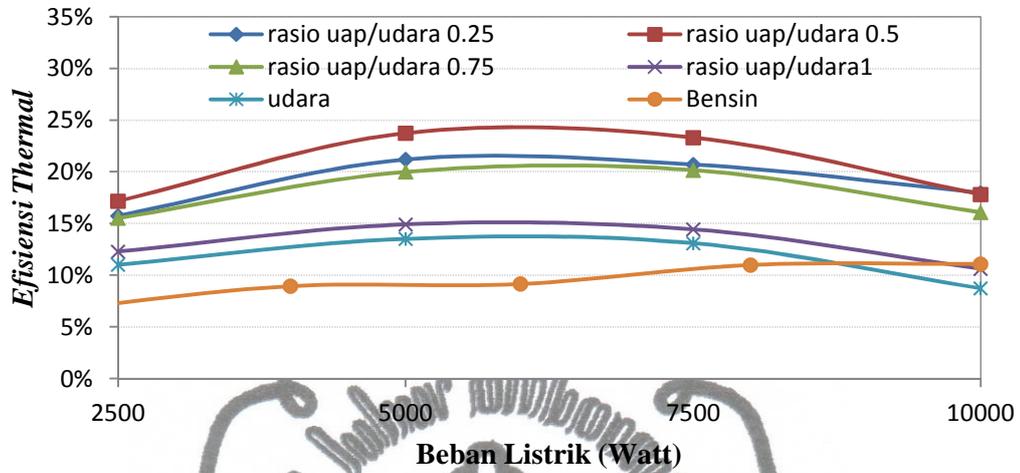
Hasil pengujian gasifikasi udara dan gasifikasi uap/udara menghasilkan *syngas* sebagai bahan bakar motor generator. *Syngas* tersebut mengandung gas-gas mampu bakar. Jumlah konsentrasi gas mampu bakar dan nilai kalor yang dihasilkan tergantung dari agen gasifikasinya.

Tabel 4.1. Kandungan H₂ dan CO pada tiap variasi pengujian

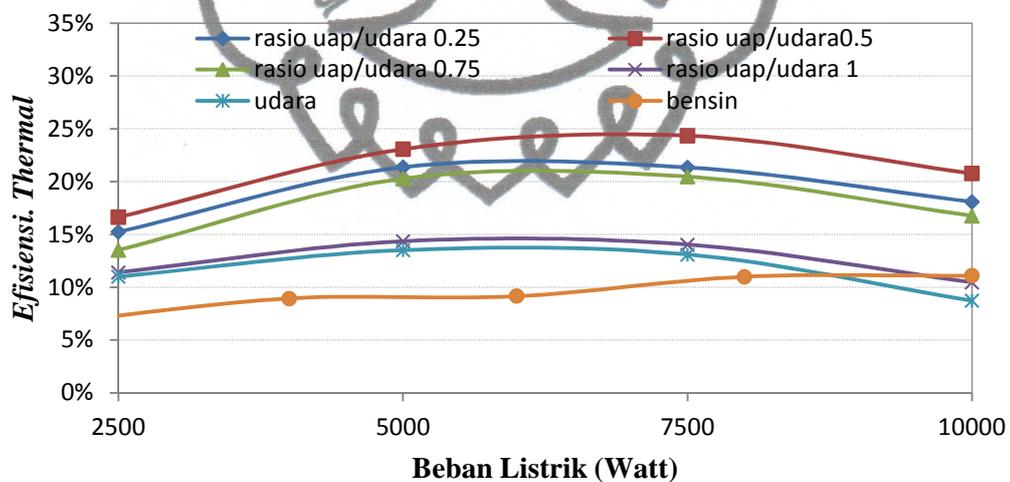
Suhu Uap (°C)	Rasio Uap/Udara	H ₂	CO	Nilai Kalor (MJ/kg)
400	0,25	11,63%	13,56%	5,27
	0,5	18,24%	10,05%	5,33
	0,75	17,36%	11,19%	4,91
	1	11,26%	7,32%	4,76
500	0,25	12,31%	14,01%	5,29
	0,5	18,61%	9,72%	5,36
	0,75	18,24%	10,21%	4,95
	1	11,61%	8,64%	4,90
Agen udara		9,96%	14,80%	4,87

Tabel 4.1 menunjukkan kandungan H₂ dan CO serta nilai kalor pada tiap variasi pengujian. Dari tabel 4.1 terlihat nilai H₂ dan nilai kalor tertinggi berada pada variasi rasio uap/udara 0,5 pada suhu uap 500°C yaitu sebesar 18,61% dan 5,36 MJ/kg. Hal tersebut menunjukkan *syngas* dengan nilai kadar hidrogen tertinggi memiliki nilai kalor tertinggi. Nilai kalor *syngas* dipengaruhi oleh gas-gas mampu bakar yang terkandung dalam *syngas* khususnya kandungan hidrogen. Hal ini dikarenakan nilai kalor hidrogen sebesar 141 MJ/kg atau 14 kali lebih besar dibandingkan nilai kalor karbon monoksida.

4.1 Efisiensi *Thermal* Motor Generator



Gambar 4.1 Efisiensi *thermal* yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 400°C.

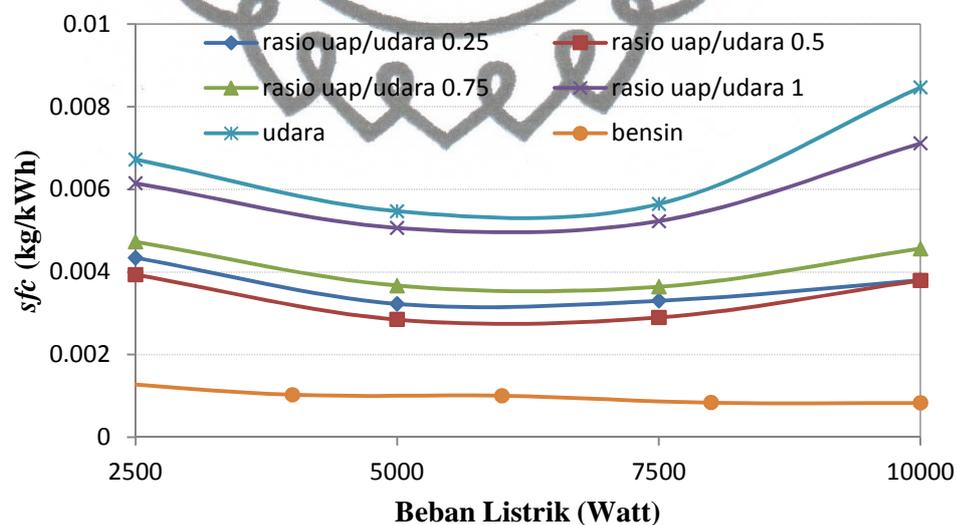


Gambar 4.2 Efisiensi *thermal* yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 500°C.

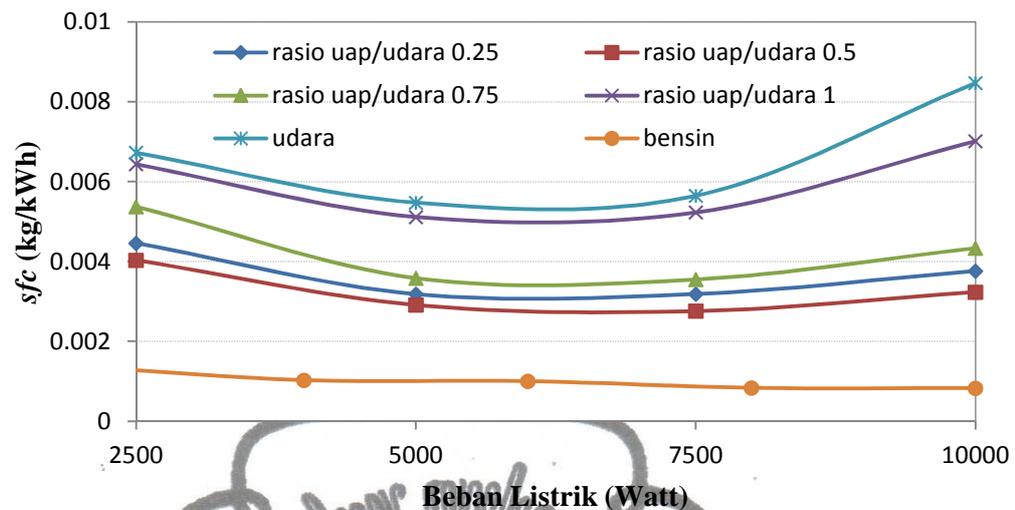
Gambar 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara efisiensi *thermal* dari generator-motor bakar berbahan bakar *syngas* dari biomasa dengan variasi agen gasifikasi dan beban pengujian. Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2

terlihat efisiensi mesin berbahan bakar *producer gas* beragen udara lebih rendah dari pada mesin dengan bahan bakar *syngas* beragen uap/udara. Dari gambar 4.1 terlihat bahwa efisiensi tertinggi sebesar 23,73% terjadi pada pengujian dengan bahan bakar *syngas* dari gasifikasi agen uap/udara rasio 0,5 pada pembebanan 5000 Watt. Sama halnya yang terlihat pada gambar 4.2 yang mana efisiensi tertinggi sebesar 24,35% berada pada variasi rasio uap/udara 0,5 pada pembebanan 7500 Watt. Dari tabel 4.1 terlihat pada variasi rasio uap/udara 0,5 memiliki kadar hidrogen tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi mesin dipengaruhi kualitas gas *syngas*. Untuk pengujian dengan bahan bakar bensin diperoleh nilai efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar *syngas* dari gasifikasi uap udara. Namun efisiensi *thermal* generator motor bakar berbahan bakar bensin semakin meningkat seiring penambahan pembebanan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan bahan bakar bensin, pembebanan yang dilakukan belum mencapai nilai maksimumnya.

4.2 *Specific Fuel Consumption (sfc)*



Gambar 4.3 *Sfc* yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 400°C.

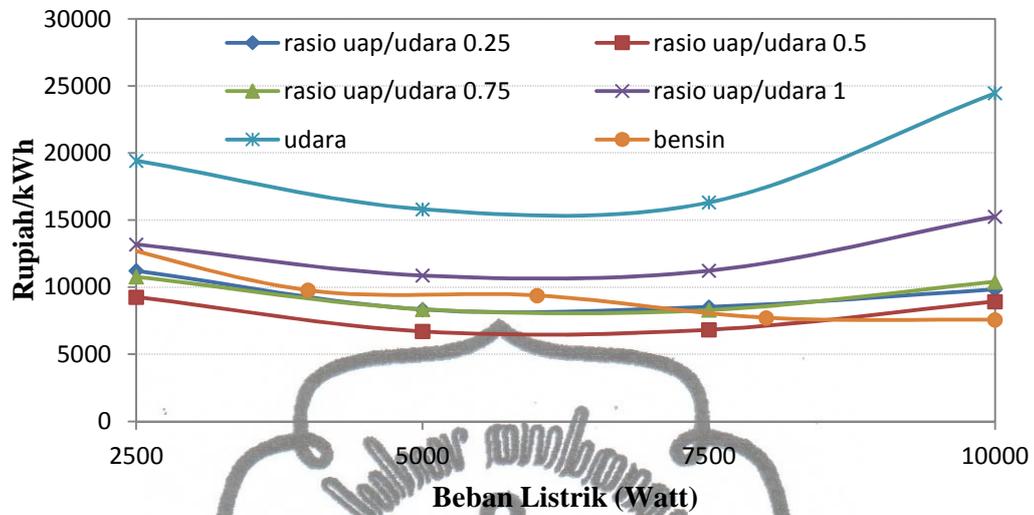


Gambar 4.4 *Sfc* yang dihasilkan dari motor pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* biomasa dengan variasi rasio uap/udara dan suhu uap 500°C.

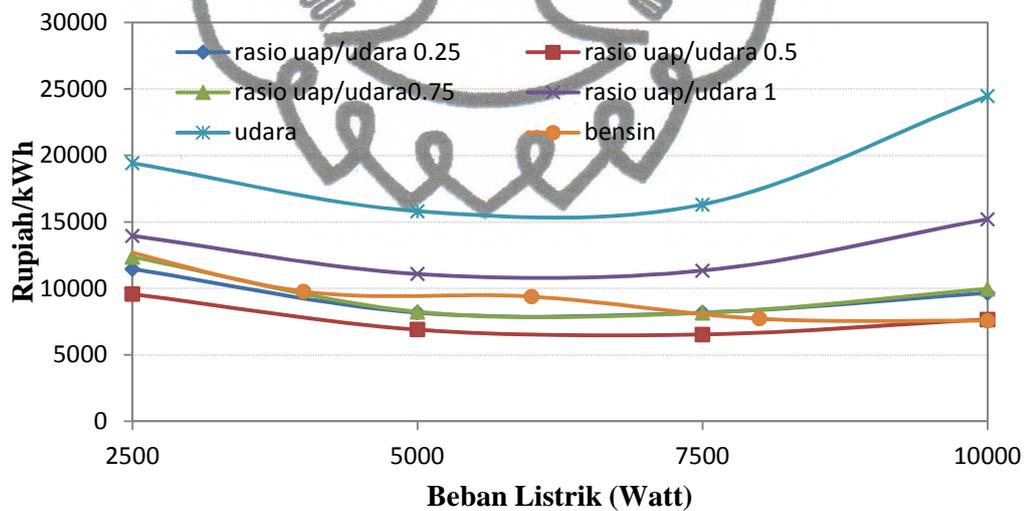
Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara *sfc* (*specific fuel consumption*) dari generator-motor bakar berbahan bakar *syngas* dari biomasa dengan variasi agen gasifikasi dan beban pengujian. *Sfc* merupakan perbandingan antara konsumsi bahan bakar dengan daya yang dihasilkan. Semakin rendah *sfc* yang dihasilkan, maka efisiensi dari mesin tersebut semakin tinggi. Pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 terlihat nilai *sfc* yang tinggi terjadi pada gasifikasi dengan agen udara di setiap pembebanan. Hal ini dikarenakan nilai kalor *syngas* pada gasifikasi udara lebih rendah dibandingkan nilai kalor *syngas* hasil gasifikasi uap-udara.

Nilai *sfc* terendah pada gambar 4.3 adalah 0,00284 kg/kWh. Sedangkan nilai *sfc* terendah pada gambar 4.4 adalah 0,00275 kg/kWh. Nilai *sfc* terendah terjadi pada pengujian menggunakan bahan bakar bensin. Hal ini dikarenakan nilai kalor bensin yang besar yaitu mencapai 44,4 MJ/kg, sehingga massa bensin yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan massa *syngas* untuk menghasilkan energi yang sama .

4.3 Ongkos Energi Pembangkit Listrik



Gambar 4.5 Ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh pada gasifikasi dengan suhu uap 400°C.



Gambar 4.6 Ongkos energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik per kWh pada gasifikasi dengan suhu uap 500°C.

Gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara harga listrik dengan beban yang diujikan. Analisa ongkos energi dihitung dari biaya investasi alat dan biaya operasi untuk menghasilkan listrik per kWh. Perhitungan harga

sekam saat ini sekitar Rp. 100.-/kg. Sedangkan harga listrik Rp. 916.-/kWh serta harga bensin nonsubsidi Rp. 9500 dan biaya pekerja Rp. 4500 per jam dihitung dari upah minimum regional (UMR) kota surakarta.

Dari garifk 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 *syngas*. Sehingga nilai dari *sfc* lebih rendah dibandingkan dengan pengujian *syngas* dari gasifikasi agen udara. Dari grafik terlihat ongkos energi termurah sebesar Rp. 3100 per kWh pada variasi rasio uap/udara 0,5 dengan temperatur 500°C. Hal ini dikarenakan nilai *sfc* pada variasi tersebut juga memiliki nilai terendah.

Tabel 4.2 Perbandingan biaya yang dibutuhkan pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik pada efisiensi tertinggi.

Bahan bakar pembangkit listrik	Biaya Investasi (Rp)	Harga bahan bakar per kg (Rp)	Harga listrik per kWh (Rp)
Bensin	15.700.000	13.500	8.000
<i>Syngas</i>	37.450.000	2.500	6.500

Dari tabel 4.2 terlihat perbandingan ongkos energi antara pembangkit listrik dengan bahan bakar bensin dan pembangkit listrik dengan bahan bakar *syngas*. Dari tabel terlihat bahwa biaya investasi untuk pembangkit listrik dengan *syngas* lebih mahal dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan bahan bakar bensin. Hal ini dikarenakan *syngas* yang digunakan sebagai bahan bakar dihasilkan dari proses gasifikasi dengan peralatan yang dibuat sendiri. Berbeda dengan pembangkit listrik berbahan bakar bensin yang mana bensin nonsubsidi dapat dibeli di SPBU Pertamina, sehingga tidak membutuhkan peralatan untuk menghasilkan bensin. Harga bahan bakar *syngas* diperoleh dari biaya operasi selama proses gasifikasi. Harga bahan bakar *syngas* lebih murah dibandingkan harga bensin nonsubsidi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode gasifikasi yang dilakukan membuat harga bahan bakar *syngas* layak untuk digunakan. Harga listrik per kWh dari pembangkit listrik berbahan bakar *syngas* lebih murah Rp.

1500 daripada harga listrik per kWh untuk pembangkit listrik dengan bahan bakar bensin. Padahal harga *syngas* empat kali lebih murah dari harga bensin. Hal ini dikarenakan nilai kalor bensin delapan kali lebih besar daripada nilai kalor *syngas* yang hanya 5,36 MJ/kg. Sehingga konsumsi bahan bakar *syngas* lebih besar daripada konsumsi bahan bakar dengan menggunakan bensin seperti ditunjukkan pada grafik 4.4.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Unjuk kerja generator motor bakar menunjukkan nilai efisiensi *thermal* dengan bahan bakar *syngas* dari gasifikasi uap-udara lebih tinggi dibandingkan dengan unjuk kerja berbahan bakar *syngas* dari gasifikasi udara pada semua variasi beban. Nilai efisiensi tertinggi berada pada variasi rasio uap/udara 0,5 dengan temperatur uap 500°C pada pembebanan 7500 Watt sebesar 24,35%. Untuk konsumsi bahan bakar (*sfc*) dengan *syngas* hasil gasifikasi uap udara juga lebih sedikit dibandingkan dengan *syngas* hasil gasifikasi udara. Nilai *sfc* terendah berada pada variasi uap/udara 0,5 pada pembebanan 7500 yaitu sebesar 0,00275 kg/kWh.
2. Ongkos energi yang dibutuhkan pembangkit listrik berpengerak motor bakar dengan bahan bakar *syngas* sebesar Rp. 37.450.000 untuk biaya investasi alat dan harga listrik per kWh mencapai Rp. 6.500. Untuk ongkos energi pembangkit listrik berbahan bakar bensin mencapai Rp. 15.700.000 untuk biaya investasi alat dan harga listrik mencapai Rp. 8.000 per kWh.

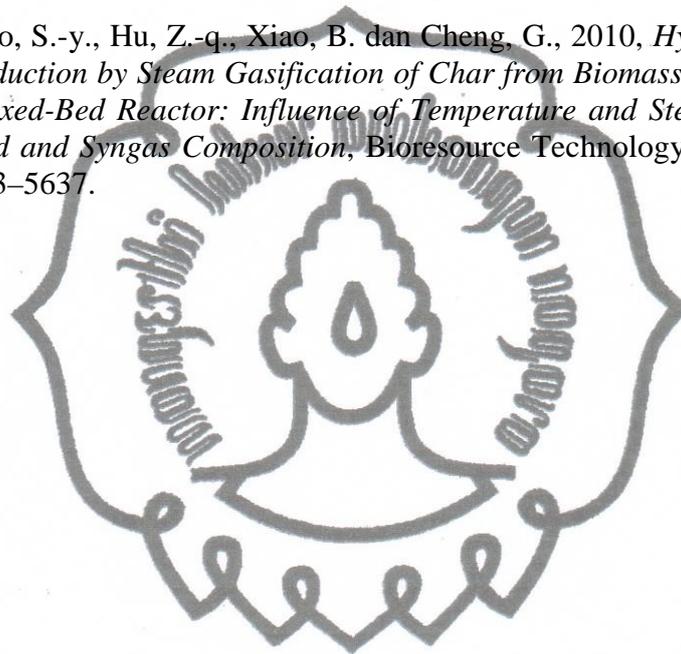
5.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, kandungan hidrogen dalam *syngas* mempengaruhi nilai efisiensi generator motor bakar, sehingga perlu untuk meningkatkan kadar hidrogen dalam *syngas* yang baru mencapai 18,61%. Salah satu reaksi pada gasifikasi yang menghasilkan hidrogen adalah reaksi *water gas shift*. Sehingga dengan mengoptimalisasi reaksi *water gas shift* dapat meningkatkan kadar hidrogen dalam *syngas*. Cara pengoptimalisasi reaksi *water gas shift* dapat dilakukan dengan mempertinggi reaktor gasifikasi, dengan semakin tinggi reaktor maka semakin lama *syngas* berada dalam reaktor. Sehingga dapat meningkatkan efisiensi reaksi *water gas shift*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adela Khor, C. R., Yao-bin Yang, Vida N Sharifi and Jim Swithenbank, 2006, *Clean Hydrogen Production Via Novel Steam-Air Gasification of Biomass*, Department of Chemical and Process Engineering.
- BPS, 2011, *Produksi Padi, Jagung, Dan Kedelai (Angka Sementara Tahun 2010 Dan Angka Ramalan I Tahun 2011)*, BPS, Indonesia,
- F. Moreno, M. M., J. Arroyo, O. Magen, C. Monne, I. Suelves, 2012, *Efficiency and Emissions in a Vehicle Spark Ignition Engine Fueled with Hydrogen and Methane Blends*, International Journal Of Hydrogen Energy, Vol. 37, pp. 11495-11503.
- Herri Susanto, dkk., 2005, *Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW Di Haurgeulis, Indramayu*, Laporan Teknis Pengoperasian PLTD-G sekam di Haurgeulis selama bulan September 2005, Dasar-dasar Proses Gasifikasi dan Pengalaman Teknik Kimia ITB dalam pengoperasian PLTD-Gasifikasi Sekam 1980-1990.
- Heywood, J. B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamental*, Mc Graw-Hill Education, USA.
- Jangsawang, W., Gupta, A. K., Kitagawa, K. dan Lee, S. C., 2007, *High Temperature Steam and Air Gasification of Non-woody Biomass Wastes*, Asian Journal on Energy and Environment, Vol. 08 -No. (03), pp. 601-609.
- Kristiyono, D., 2011, *Uji Unjuk Kerja Generator-Motor Bakar 1000cc Berbahan Bakar Syngas Dari Gasifikasi Biomasa*, Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- McHugh, K., 2005, *Hydrogen Production Methods*, MPR Associates, Inc
- Rahmat, R., 2006, *Giliran Sekam Untuk Bahan Bakar Alternatif*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor, Vol. 28(2), pp.1-3.
- Rakopoulos, C. D. dan Michos, C. N., 2008, *Development and Validation of a Multi-Zone Combustion Model for Performance and Nitric Oxide Formation in Syngas Fueled Spark Ignition Engine*, Internal Combustion Engines Laboratory, Thermal Engineering Department, School of Mechanical Engineering, National Technical University of Athens (NTUA), Vol. 49, pp. 2924–2938.
- Rauch Reinhard, 2001, *Steam Gasification of Biomass at CHP Plant Guessing-Status of The Demonstration Plant*, Institute of Chemical Engineering, Austria

- Suyitno, 2009, *Perumusan Laju Reaksi dan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi Menggunakan Metode Analisis Termogravimetri*, JURNAL TEKNIK MESIN, Vol. 11.
- Suyitno, 2011, *Produksi Gas Dari Padatan: Dasar-Dasar, Teknik, Simulasi, Dan Aplikasi*, Sebelas Maret University Press, Surakarta.
- Tewari, P. G., Subrahmanyam, J. P. dan Babu, M. K. G., 2001, *Experimental Investigations on the Performance Characteristics of a Syngas Fuelled Spark Ignition Engine*, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology.
- Yan, F., Luo, S.-y., Hu, Z.-q., Xiao, B. dan Cheng, G., 2010, *Hydrogen-Rich Gas Production by Steam Gasification of Char from Biomass Fast Pyrolysis in a Fixed-Bed Reactor: Influence of Temperature and Steam on Hydrogen Yield and Syngas Composition*, Bioresource Technology, Vol. 101, pp. 5633–5637.





LAMPIRAN

commit to user

CONTOH PERHITUNGAN DATA
BAHAN BAKAR SYNGAS VARIASI RASIO UAP UDARA 0,5 DENGAN
SUHU UAP 500°C PADA PEMBEBANAN 7500 Watt.

1. SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (sfc)

Diketahui :

kebutuhan bahan bakar per jam (Gf) = 9,17 kg/jam

Daya efektif (Ne) = 3337,67 Watt

$$sfc = \frac{Gf}{e} = \frac{9,17 \text{ /jam}}{3337,67 \text{ wa}} = 0,002748 \text{ kg/kWh}$$

2. EFISIENSI THERMAL ()

Diketahui :

Daya efektif = 3337,67 Watt

Kebutuhan bahan bakar per jam (Gf) = 9,17 kg/jam

Nilai kalor bahan bakar (Qc) = 5,36 MJ/kg

$$\eta = \frac{e}{Gf} \times 100\% = \frac{3337,7}{9,17 \times 5,36} \times 100\%$$

$$= \frac{3337,7}{13,31} \times 100\% = 24,44\%$$

3. ONGKOS ENERGI

Tabel biaya investasi alat pembangkit listrik berbahan bakar *syngas*

Investasi pembangkit listrik	Biaya (Rp)
Pembuatan reaktor	15.000.000
Blower	350.000
kompresor	3.500.000
thermoreader & thermocouple	500.000
kondensor	400.000
Boiler	2.000.000
Generator	5.000.000
Mesin Mobil	10.000.000
aki	700.000
Total investasi	37.450.000

Tabel biaya operasional pembangkit listrik berbahan bakar *syngas*

Kebutuhan operasional	Harga per kg (Rp)	Daya Listrik kWh	UMR per jam (Rp)	Harga listrik per kWh (Rp)	Biaya operasional per jam (Rp)
Sekam 5 kg/jam	100	-	-	-	500
2 Pekerja	-	-	4500	-	9.000
Motor screw	-	0,924	-	916	846,38
Blower	-	0,44	-	916	403,04
Pemanas reaktor	-	4,25	-	916	3.889,33
Pemanas uap	-	1,73	-	916	1.548,68
Kompresor	-	0,74	-	916	683,06
Total Biaya operasional					16.870,49

$$\begin{aligned}
 \text{Harga syngas (Hpg)} &= \text{Biaya operasional} / \text{Masa syngas yang dihasilkan} \\
 &\quad \text{per jam} \\
 &= \text{Rp. } 16.870,49 / 7,13 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp. } 2.366,13 \text{ per kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ongkos Energi Listrik per kWh} &= (H_{pg} \cdot G_f) / (N_e \cdot t) \\
 &= (\text{Rp } 2.366,13 \times 9,17 \text{ kg/jam}) / (3,337 \times 1) \\
 &\quad \text{commit to user} \\
 &= \text{Rp } 6.502,07
 \end{aligned}$$

Suhu Uap (C)	Variasi rasio uap/udara	Variasi pembebanan (Watt)	sfc (kg/jam/Watt)	Efisiensi pembangkit listrik (%)	Ongkos Energi (Rp)
400	0,25	2500	0,004344	15,73%	11.224
		5000	0,003226	21,19%	8.337
		7500	0,003301	20,71%	8.531
		10000	0,003803	17,97%	9.828
	0,5	2500	0,003935	17,16%	9.267
		5000	0,002846	23,73%	6.703
		7500	0,002898	23,31%	6.826
		10000	0,003794	17,81%	8.935
	0,75	2500	0,004732	15,52%	10.777
		5000	0,003671	19,99%	8.360
		7500	0,003642	20,16%	8.294
		10000	0,004567	16,08%	10.401
	1	2500	0,006149	12,29%	13.189
		5000	0,005067	14,92%	10.868
		7500	0,005233	14,44%	11.226
		10000	0,007114	10,62%	15.259
-	0	2500	0,0067242	11,01%	19.424
		5000	0,0054723	13,52%	15.807
		7500	0,0056469	13,10%	16.312
		10000	0,0084706	8,73%	24.468

Suhu Uap (C)	Variasi rasio uap/udara	Variasi pembebanan (Watt)	<i>sfc</i> (kg/jam/Watt)	Efisiensi pembangkit listrik (%)	Ongkos Energi (Rp)
500	0,25	2500	0,004460	15,25%	11.454
		5000	0,003183	21,37%	8.175
		7500	0,003186	21,34%	8.183
		10000	0,003760	18,09%	9.658
	0,5	2500	0,004035	16,64%	9.573
		5000	0,002910	23,07%	6.904
		7500	0,002757	24,35%	6.540
		10000	0,003232	20,77%	7.668
	0,75	2500	0,005375	13,52%	12.364
		5000	0,003583	20,28%	8.242
		7500	0,003549	20,47%	8.165
		10000	0,004336	16,76%	9.975
	1	2500	0,006436	11,41%	13.951
		5000	0,005115	14,35%	11.088
		7500	0,005229	14,04%	11.335
		10000	0,007015	10,47%	15.206
-	0	2500	0,0067242	11,01%	19.424
		5000	0,0054723	13,52%	15.807
		7500	0,0056469	13,10%	16.312
		10000	0,0084706	8,73%	24.468

