

JURNAL PUBLIKASI
Pengembangan Desain dan Pengoperasian Alat Produksi Gas
Metana Dari pembakaran Sampah Organik



Diajukan Untuk Memenuhi Tugas dan Syarat-syarat Guna Memeperoleh Gelar
Sarjana Teknik Jurusan Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh:

RISKI NUGROHO

D200090066

JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
SEPTEMBER 2013

HALAMAN PENGESAHAN

Jurnal Publikasi telah disahkan oleh pembimbing sebagai persyaratan memperoleh derajat S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Dipersiapkan oleh :

Nama : RISKI NUGROHO

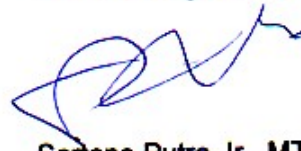
NIM : D200 900 066

Disahkan pada:

Hari :

Tanggal :

Pembimbing Utama



Sartono Putro, Ir., MT

Pengembangan Desain dan Pengoperasian Alat Produksi Gas Metana Dari Pembakaran Sampah Organik

Riski Nugroho, Sartono Putro, Tri Tjahjono

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasuro

e-mail: rhiezkhai@yahoo.com

ABSTRAKSI

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain dan pengoperasian alat produksi gas metana dari sampah organik dengan cara dibakar sehingga desain ini dapat menutup kelemahan desain alat terdahulu serta mengetahui pengaruh pengadukan terhadap waktu nyala efektif gas metana dan jumlah kalor pendidihan air menggunakan bahan organik sekam padi, jerami dan sampah campuran daun basah dan kering.

Alat produksi gas metana dalam penelitian ini dilengkapi dengan pengaduk yang terletak ditutup reaktor sehingga dalam proses pengadukannya tidak perlu membuka tutup reaktor pembakaran. Pembentukan gas menggunakan jenis thermal process gasification dan reaktor pembakaran menggunakan jenis updraft gasifier dan bahan yang digunakan adalah sekam padi, jerami, sampah campuran basah dan kering, masing-masing sebanyak 5 kg. Parameter yang diteliti adalah volume air, perubahan temperatur 1 liter air setiap dua menit serta lama waktu nyala efektif.

Dari hasil uji alat produksi gas metana dari pembakaran setiap 5 kg sampah organik menunjukkan dengan menggunakan bahan sekam padi menghasilkan nyala efektif selama 44 menit, pengadukan 6 kali, kalor pendidihan air sebesar 656.900 Joule, dan daya sebesar 716.34 watt. Bahan jerami menghasilkan nyala efektif selama 24 menit, pengadukan sebanyak 5 kali, kalor pendidihan air sebesar 272.000 Joule dan daya sebesar 237.17 watt. Bahan sampah campuran basah dan kering menghasilkan nyala efektif 16 menit, pengadukan 6 kali, kalor pendidihan air sebesar 129.400 Joule dan daya sebesar 182.71 watt. Berdasarkan hasil pengujian alat produksi gas metana yang telah dilakukan diperoleh bahwa bahan paling bagus yaitu sekam padi yang mampu menghasilkan daya sebesar 716,34 watt.

Kata Kunci: Desain, Updraft gasifier, Gas Metana, Sampah Organik

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sampah merupakan suatu penyebab pencemaran lingkungan dan polusi udara. Masalah yang sering muncul dalam penanganan sampah adalah masalah biaya operasional yang tinggi. Penanganan sampah yang selama ini ada sebagian besar ditangani dengan cara yang kurang efisien dan tidak mempertimbangkan segi ekonomisnya, untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi yang tinggi dalam penanganan sampah maka dalam pengelolaannya harus menerapkan metode atau cara yang tepat akurat.

Putra, R.P. (2011), melakukan penelitian tentang alat produksi gas metana dari sampah organik dengan variasi bahan sampah basah kebun, sampah kulit bawang dan sampah kering kebun. Alat reaktor pembakaran sampah tersebut masih terdapat banyak kelemahan. Diantaranya yaitu tutup reaktor dirancang berbentuk kerucut agar kerugian-kerugian gas akibat gesekan bisa dikurangi sehingga dapat mengalir lebih efektif menuju saluran aliran gas. Dalam proses pengadukan sampah dalam reaktor pembakaran masih harus membuka penutupnya, sehingga alat reaktor pembakaran dalam

penelitian ini ditambahkan pengaduk yang terletak pada tutup reaktor pembakaran, supaya dalam proses pengadukan tidak perlu membuka tutup reaktor pembakaran.. Selain memperbaiki kelemahan yang sudah ada, Penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan pedoman cara pengoperasian reaktor dari pembakaran sampah organik dengan variasi bahan sampah organik sekam padi, jerami dan campuran daun basah dan kering.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Mendapatkan desain reaktor pembakaran pada alat produksi gas metana dari pembakaran untuk bahan organik sekam padi, jerami dan sampah campuran basah dan kering,
2. mendapatkan pedoman pengoperasian reaktor pembakaran untuk bahan organik sekam padi, jerami dan sampah campuran daun basah dan kering.

Tinjauan Pustaka

Yulianto (2011), mendesain dan melakukan pengujian alat produksi gas metana dari sampah organik dengan variasi debit udara pembakaran 0,026 m³/s, 0,023

m³/s dan 0,020 m³/s. Pengujian diawali dengan perakitan instalasi alat produksi gas metana dengan bahan bakar sampah organik jenis sekam padi. Bahan tersebut dibakar dalam reaktor pembakaran dengan tujuan memperoleh pembakaran yang tak sempurna dan melalui beberapa tahapan kembali sampai pada akhirnya menjadi gas metana yang siap digunakan sebagai bahan bakar kompor. Hasil pengujian dengan debit udara pembakaran 0.023 m³/s dapat menyala selama 184 menit dan nilai kalor pendidihan 8296,4 kJ pada debit udara 0.026 m³/s dapat menyala selama 152 menit dan nilai kalor pendidihan 6222,3 kJ sedangkan dengan debit udara 0.020 m³/s dapat menyala selama 124 menit dengan nilai kalor 5392,7 kJ.

Syawal, I. (2011), mendesain alat produksi gas metana dengan jenis *thermal proses gasification* dan bahan yang digunakan adalah tempurung kelapa, sekam padi dan serbuk gergaji kayu. Bahan tersebut dibakar dalam reaktor pembakaran dengan tujuan memperoleh pembakaran yang tak sempurna dan melalui beberapa tahapan kembali sampai pada akhirnya menjadi gas metana yang siap digunakan sebagai bahan bakar kompor. Penelitian ini menghasilkan alat produksi gas metana yang berbahan dasar plat besi dengan

spesifikasi sebagai berikut : reaktor pembakaran dengan dimensi tinggi 0,87 m, diameter 0,57 m dan massa kosong 40 kg.

Putra, R.P. (2011), perancangan konstruksi reaktor sampah dengan penambahan kawat kasa sebagai pembantu distribusi udara dan cara pengolahan sampah organik menjadi energi serta pengukuran waktu nyala efektif dan jumlah kalor yang dihasilkan gas metana dari sampah organik berupa sampah basah kebun, sampah kulit bawang dan sampah kering kebun dengan jenis *thermal proses gasification* dengan spesifikasi sebagai berikut : reaktor pembakaran dengan dimensi tinggi 0,87 m, diameter 0,57 m, tinggi kawat kasa 0,5 m, diameter kawat kasa 0,03 m dan massa kosong 40 kg.

Gumanti, A.H. (2012), melakukan penelitian tentang studi kandungan tar pada *updraft gasifier* dengan *double syngas outlet* menggunakan bahan bakar kayu karet yang bertujuan mengurangi kandungan tar pada *updraft gasifier* dengan cara mengeluarkan gas produk melalui dua outlet gas, yaitu outlet bawah pada daerah reduksi dan outlet atas pada daerah gasifikasi. Hasil yang didapat yaitu jumlah kandungan tar bergantung pada temperatur *gasifier* dan *residence time* dari gas, jumlah kandungan *outlet* atas lebih tinggi dari outlet bawah.

Irawan, A. dkk (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh tinggi dan kerapatan unggun terhadap kualitas pembakaran gas produser dari gasifikasi skala rumah tangga. Adapun tujuannya adalah mengamati pengaruh tinggi dan kerapatan unggun terhadap kualitas pembakaran gas produser hasil gasifikasi sekam padi. Parameter kualitas pembakaran adalah pengukuran temperatur lidah api dengan posisi tetap. Waktu tahan temperatur di atas 500°C menjadi standar kualitas proses gasifikasi sekam padi yang dipengaruhi oleh kerapatan dan tinggi unggun sekam padi. Pengujian dilakukan menggunakan kompor gasifikasi skala rumah tangga yang mampu memuat sekam padi 1000 g. variasi tinggi unggun adalah 25, 40, dan 55 cm serta kerapatan unggun 85, 95, dan 105 kg/m³. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas pembakaran gas produser dipengaruhi oleh tinggi dan kerapatan unggun.

DASAR TEORI

Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran.

Jenis reaktor gasifikasi berdasarkan arah aliran:

1. *Updraft gasifier*
2. *Downdraft gasifier*
3. *Crossdraft gasifier*

Proses-proses dalam reaktor gasifikasi:

1. Proses pengeringan
2. Proses pirolisis
3. Proses Reduksi
4. Proses Oksidasi

Keunggulan dari gasifikasi

1. Mampu menghasilkan produk gas yang konsisten
2. Mampu memproses beragam input bahan bakar
3. Mampu mengubah sampah yang bernilai rendah menjadi produk yang bernilai lebih tinggi.

Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi cepat suatu senyawa dengan oksigen disertai dengan pembebasan kalor atau panas dan cahaya.

Berdasarkan gas sisa yang dihasilkan, pembakaran dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

1. Pembakaran sempurna (complete combustion), terjadi apabila bahan bakar yang mengandung unsur C, H dan S bereaksi membentuk CO₂ dan H₂O.
2. Pembakaran tidak sempurna, terjadi apabila proses

pembakaran bahan bakar menghasilkan karbon monoksida (CO) dimana disebabkan oleh kurangnya persediaan oksigen.

Kalor

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Didefinisikan sebagai energi panas yang dimiliki oleh suatu zat. Kalor dapat ditimbulkan dari energi gerak, energi listrik, energi kimia dan sebagainya. Kalor dapat berpindah dari suatu benda ke benda lain. Kalor dapat diukur menggunakan pendekatan dari kalor yang diperlukan untuk mendidihkan air.:

$$Q = m \times \Delta h \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- Q = Jumlah kalor, (Joule)
- m = Massa, (kg)
- $\Delta h = (hf_2 - hf_1)$ Enthalpi pendidihan air (kJ/kg)

Daya

Daya dalam fisika adalah laju energi yang dihantarkan atau kerja yang dihasilkan per satuan waktu. Mengikuti definisi ini daya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{Q}{t} \dots \dots \dots (2)$$

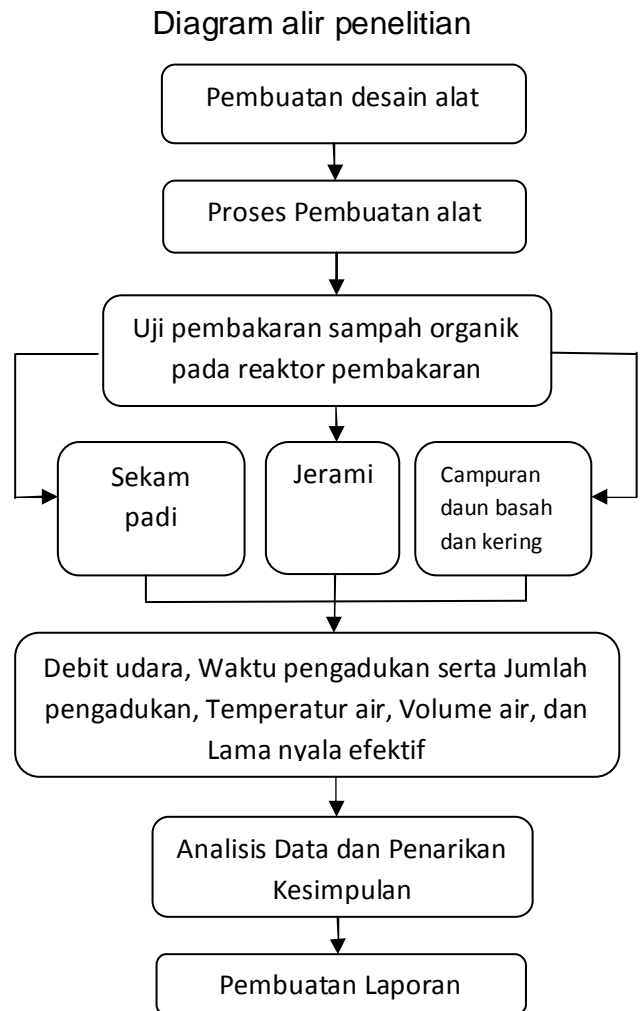
Dimana:

- W = Daya, (Watt)
- t = Satuan waktu (s)

Gas Metana

Metana adalah hidrokarbon yang sederhana berbentuk gas dengan rumus kimia CH₄. Gas metana bersifat tidak berbau, tidak berwarna dan sangat mudah terbakar. Gas metana hanya mudah terbakar bila konsentrasinya mencapai 5-15% diudara.

Metodologi Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Alat dan Bahan Penelitian

1. Reaktor pembakaran

Alat ini digunakan untuk tempat proses pembakaran sampah organik.



Gambar 2. Reaktor pembakaran

2. Tutup reaktor pembakaran

Alat ini digunakan sebagai penutup reaktor pembakaran dan pengarah aliran gas asap pembakaran.

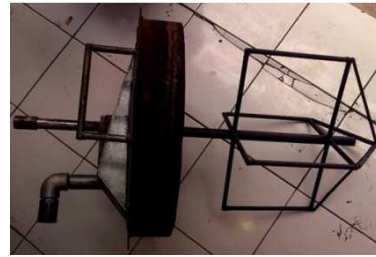


Gambar 3. Tutup reaktor

3. Pengaduk

Alat ini digunakan untuk membantu proses sirkulasi

sampah pada reaktor pembakaran.



Gambar 4. Pengaduk

4. Tangki absorber

Alat ini digunakan untuk mengurangi senyawa TAR pada gas metana (pemurnian gas).



Gambar 5. Tangki absorber

5. Kompor modifikasi

Alat ini digunakan untuk membakar gas metana.



Gambar 6. Kompor

6. Blower

Alat ini digunakan untuk menyuplai udara ke dalam ruang bakar.



Gambar 7. Blower

7. Anemometer digital

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara dari blower.



Gambar 8. Anemometer digital

8. Timbangan analog

Alat ini digunakan untuk menimbang berat bahan bakar yang akan digunakan.



Gambar 9. Timbangan analog

9. Stopwatch digital

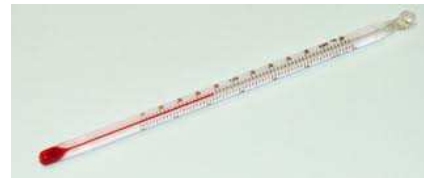
Alat ini digunakan untuk mencatat waktu pengambilan data.



Gambar 10. Stopwatch digital

10. Thermometer

Alat ini digunakan untuk mencatat perubahan temperatur air.



Gambar 11. Thermometer

11. Gelas ukur

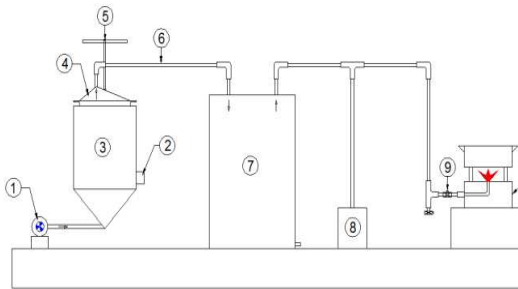
Alat ini digunakan untuk mengukur volume *liquid smoke* hasil pembakaran.



Gambar 12. Gelas ukur

12. Bahan penelitian yang digunakan sekam padi, jerami dan sampah campuran daun basah dan kering.

Instalasi Pengujian



Gambar 14. Instalasi alat pembakaran sampah organik

Keterangan gambar:

1. Blower
2. Pintu abu
3. Reaktor pembakaran
4. Tutup reaktor
5. Pengaduk
6. Pipa
7. Tangki absorber
8. Antisipator ledakan
9. Katup/kran
10. Kompiler

Langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian terhadap karakteristik gas metana yang dihasilkan dari sampah organik yaitu campuran daun basah dan kering, jerami dan sekam padi. secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut :

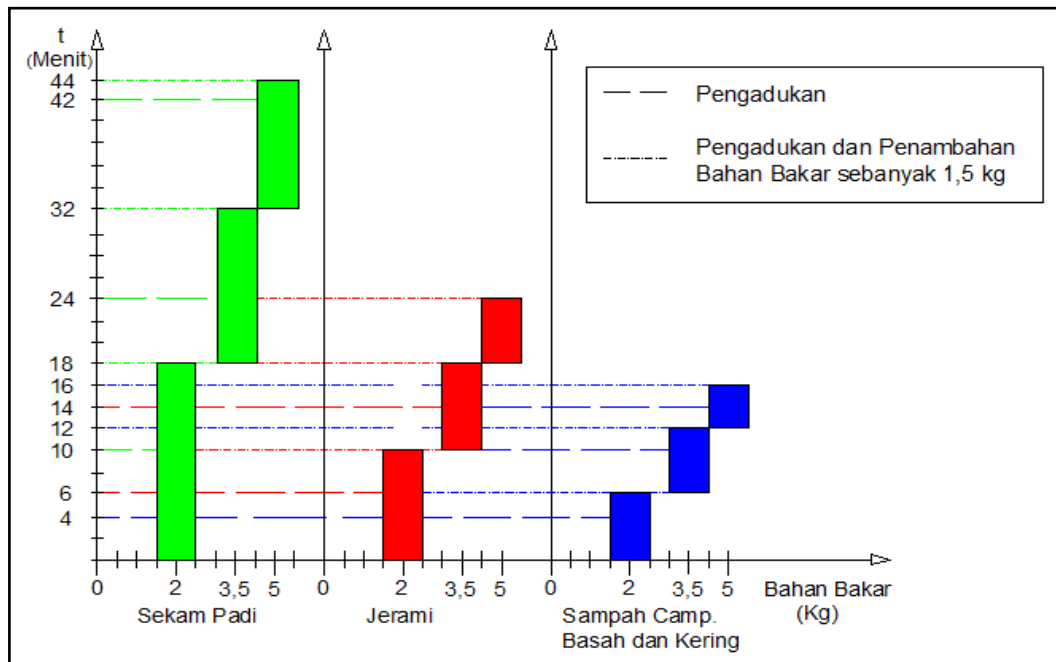
1. Menimbang bahan bakar sampah organik yaitu sampah campuran daun basah dan kering yang akan digunakan sebagai bahan penelitian yaitu sebesar 5 kg

2. Membagi setiap bahan bakar yang berupa bahan organik yaitu sampah campuran daun basah dan kering menjadi tiga bagian yaitu 2 kg, 1.5 kg, dan 1.5 kg
3. Mengisi air pada tangki absorber sampai 80-90% dari volume tangki
4. Membuat bara api dari arang maupun kayu bakar di dalam reaktor pembakaran
5. Mengatur debit udara pada blower untuk menyuplai udara ke dalam ruang bakar yang telah ditentukan
6. Memasukkan bahan organik berupa sampah campuran daun basah dan kering ke dalam reaktor pembakaran dan tunggu sampai asap tebal dan berwarna agak kekuningan
7. Menutup reaktor pembakaran dengan rapat dan membuka kran untuk mengurangi tekanan di dalam reaktor
8. Membuat nyala api pada kompor dengan korek api.
9. Merebus air dengan volume satu liter.
10. Mengambil data kenaikan temperatur satu liter air setiap dua menit.
11. Melakukan pengadukan pada alat reaktor pembakaran sampah saat nyala api mulai redup sampai nyala api kembali stabil serta mencatat waktu pengadukan.

12. Mengukur volume cairan gas asap pembakaran yang dihasilkan setiap 5 kg.
13. Melakukan percobaan yang sama untuk penelitian bahan

selanjutnya yaitu jerami dan sekam padi dengan mengganti bahan organik yang digunakan.

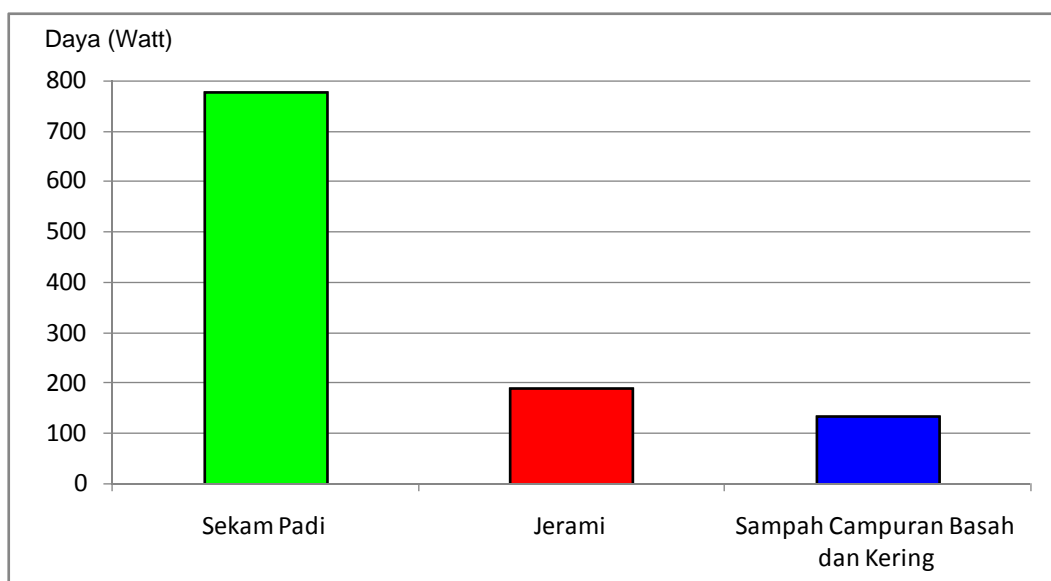
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 15. Grafik Hubungan antara temperatur air dengan waktu pendidihan gasifikasi 5 kg pada bahan organik sekam padi, jerami dan sampah campuran basah dan kering

Pada bahan sekam padi pengoperasian pengaduk dilakukan sebanyak 6 kali yaitu pada saat nyala api redup yang terjadi pada menit ke 10, 18, 24, 32, 42 dan 44. Penambahan bahan bakar sebanyak 2 kali saat nyala api mati pada menit ke 18 dan 32, masing-masing sebesar 1,5 kg dan diperoleh waktu nyala efektif selama 44 menit, sedangkan dengan bahan jerami pengoperasian pengaduk dilakukan sebanyak 5 kali yaitu pada menit ke 6, 10, 14, 18 dan

24. Penambahan bahan bakar sebanyak 2 kali saat menit ke 10 dan 18, masing-masing sebesar 1,5 kg dan diperoleh waktu nyala efektif selama 24 menit. Untuk bahan sampah campuran basah dan kering pengoperasian pengaduk dilakukan sebanyak 6 kali yaitu pada menit ke 4, 6, 10, 12, 14 dan 16. Penambahan bahan bakar sebanyak 2 kali pada menit ke 6 dan 12, masing-masing sebesar 1,5 kg dan diperoleh waktu nyala efektif selama 16 menit.



Gambar 17. Grafik Perbandingan laju energi bahan organik sekam padi, jerami dan sampah campuran basah dan kering pada gasifikasi 5 kg

Berdasarkan gambar 17 diatas maka daya yang dihasilkan setiap bahan berbeda-beda. Sekam padi menghasilkan daya paling tinggi yaitu sebesar 716,34 watt, jerami sebesar 237,17 watt dan sampah campuran basah dan kering menghasilkan daya paling rendah yaitu sebesar 182,71 watt.

Hasil diatas dapat dicari dengan menggunakan rumus pendekatan kalor dan daya yang dihasilkan dari pendidihan air:

Bahan sekam padi pendidihan air ke satu:

Mencari Kalor yang dihasilkan:

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$T_1 = 27^\circ \text{ C}, = hf_1 = 113,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 95^\circ \text{ C}, = hf_2 = 397,9 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = m \times \Delta h$$

$$= m \times (hf_2 - hf_1)$$

$$= 1 \text{ kg} \times (397,9 \text{ kJ/kg} - 113,3 \text{ kJ/kg})$$

$$= 284,6 \text{ kJ}$$

$$= 284.600 \text{ Joule}$$

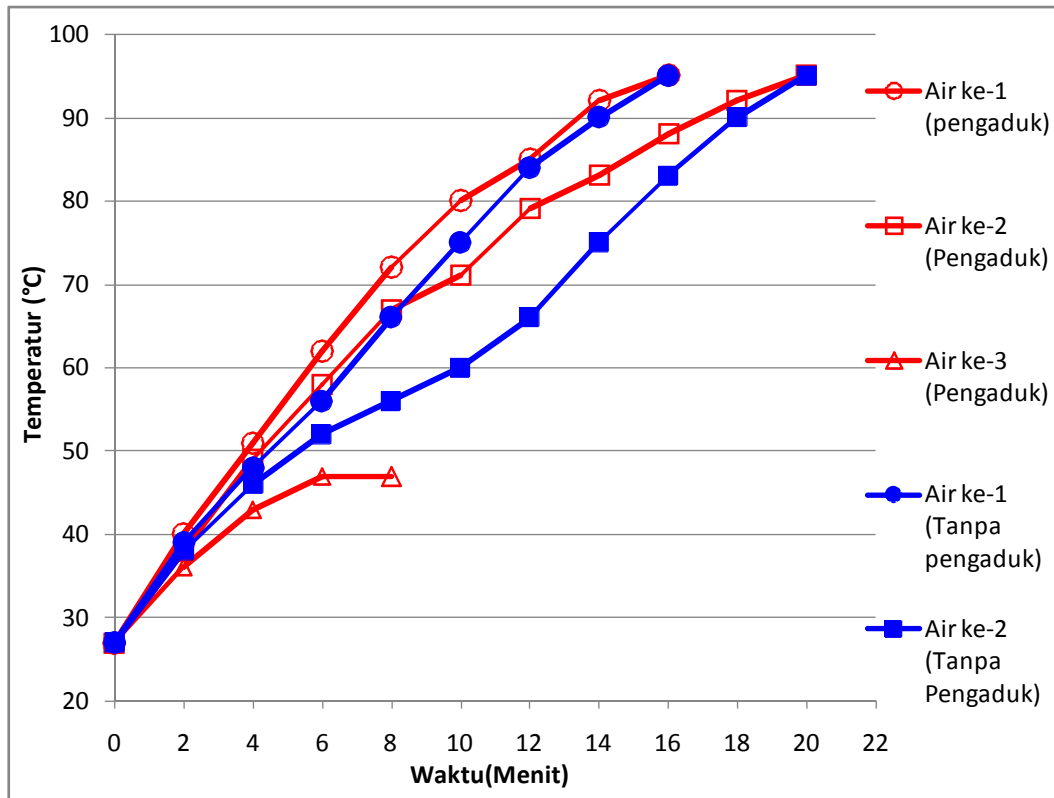
Mencari Daya yang dihasilkan:

$$W = \frac{Q}{t}$$

$$= \frac{284600}{960}$$

$$= 296,46 \text{ Watt}$$

Analisa perhitungan pada percobaan selanjutnya, rumus dan langkah-langkah perhitungan sama



Gambar 18. Hubungan antara temperatur air dengan waktu menggunakan pengadukan dan tanpa pengadukan pada gasifikasi 5 kg sekam padi

Berdasarkan gambar 18 diatas maka dengan dilakukannya pengadukan pada reaktor pembakaran diperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa pengadukan. Pada bahan sekam padi dengan dilakukannya pengadukan akan mempercepat proses pembentukan gas metana, sehingga konsentrasi gas metana meningkat yang menyebabkan nyala efektif kompor dapat bertahan lebih lama dan menghasilkan 2 kali percobaan pendidihan air pada suhu 95°C dan 1 kali percobaan air tidak sampai mendidih yaitu hanya mencapai suhu 47°C, nyala selama 44 menit.

Sedangkan tanpa pengadukan menghasilkan percobaan sebanyak 2 kali pada suhu 95°C dan diperoleh nyala efektif selama 36 menit.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Alat produksi gas metana terdiri dari 3 alat utama yaitu reaktor pembakaran, tangki absorber dan pengaduk.
 - a. Spesifikasi reaktor pembakaran:
 - Tinggi albakos: 810 mm
 - Massa kosong: 40 kg
 - Tinggi ruang bakar: 530 mm
 - Tinggi pengaman: 50 mm

- Diameter reaktor: 570 mm
- b. Spesifikasi tangki absorber
Tinggi tangki: 520 mm
Diameter tangki: 280 mm
Berat kosong: 10 kg
Diameter lubang asap: 19 mm
Jumlah lubang: 3
 - c. Spesifikasi pengaduk
Tinggi tongkat pengaduk: 860 mm
Diameter tongkat pengaduk: 23 mm
Tinggi pengaduk: 490 mm
Tebal pengaduk: 10 mm.
2. Pengoperasian alat produksi gas metana dengan menggunakan bahan organik sekam padi, jerami dan sampah campuran daun basah dan kering didapat hasil sebagai berikut:
 - a. Bahan sekam padi menghasilkan nyala efektif selama 44 menit, pengadukan 6 kali, kalor pendidihan air sebesar 656.900 Joule, dan daya sebesar 716.34 Watt.
 - b. Bahan jerami menghasilkan nyala efektif selama 24 menit, pengadukan sebanyak 5 kali, kalor pendidihan air sebesar 272.000 Joule dan daya sebesar 237.17 Watt.
 - c. Bahan sampah campuran basah dan kering menghasilkan nyala efektif 16 menit, pengadukan 6 kali, kalor pendidihan air

sebesar 129.400 Joule dan daya sebesar 182.71 Watt.

Saran

1. Reaktor menggunakan jenis *downdraft gasifier* agar mendapatkan gas metana lebih bersih dengan kandungan TAR rendah.
2. Untuk menghilangkan partikel padatan digunakan metode cyclone
3. Ditambahkan pendingin sebelum gas *producer* digunakan.
4. Pada saat pengujian hendaknya kondisi lingkungan harus sama untuk menjaga kualitas data pengujian dan dilakukan didalam ruangan agar tidak terganggu lingkungan sekitar yaitu pengaruh angin.
5. Pengujian berikutnya untuk diukur temperatur api pada setiap zona di reaktor pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberty, R.A, Daniels, F., 1987, *Kimia Fisika, Terj.* Surdia M.N., Erlangga, Jakarta.
- Anonim, *Biogas*, Diakses 28 Maret 2013 jam 09.00 WIB
<http://id.wikipedia.org/wiki/Biogas>
- Anonim, *Metana*, Diakses 28 Maret 2013 jam 09.10 WIB
<http://id.wikipedia.org/wiki/Biogas>
- Baltyra, 2012, *Gasifikasi Biomassa untuk Energi Alternatif*, Diakses 27 Maret 2012 jam 08.03 WIB www.baltyra.com
- Cahyono, Danan Eko, 2012, *Biomass Machinery*, Diakses 28 April 2013 jam 19.24 WIB, <http://dananekecahyono.blogspot.com>
- DjokoSetyardjo, 2003, *Ketel Uap*, PT Total Grafika, Jakarta. Jakarta.
- Erliza, H., dkk, 2007, *Teknologi Bioenergi*, PT Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Gumanti, A.H., 2012, “*Studi Kandungan Tar pada Updraft-Gasifier dengan Double Syngas Outlet menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*”, Tugas Akhir S-1 Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok.
- Holman, J.P., 1980, *Thermodynamics*, McGraw-Hill, Tokyo.
- Irawan, A., Alwan, H., Mustika, F., 2012, “*Pengaruh Tinggi dan Kerapatan Unggun terhadap Kualitas Pembakaran Gas Produser dari Gasifikasi Skala Rumah Tangga*”, Jurnal Teknik Kimia Indonesia vol. 11 No.3 (Desember 2012), p. 166-172. Diakses 27 Maret 2013
<http://jtki.aptekindo.org/index.php/jtki/jurnal/view/132/pdf>
- Putra, R.P., 2011, “*Rancang Bangun dan Pengujian Alat Produksi Gas Metana dari Sampah Organik dengan Variasi Bahan Sampah basah Kebun, Sampah Kulit Bawang dan Sampah Kering Kebun*”, Tugas Akhir S-1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Syawal, I., 2011, "*Rancang Bangun dan Pengujian Alat Produksi Gas Metana dari Sampah Organik dengan Variasi Bahan Tempurung Kelapa, Sekam Padi, dan Serbuk Gergaji Kayu*", Tugas Akhir S-1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.