

Kaji Eksperimental Gasifikasi Biomassa Reaktor Tekanan Vakum

Novandri Tri Setioputro¹, Muhtar Kosim²,

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Subang, Subang, Indonesia,
andrisub@gmail.com, mao.2048@gmail.com

ABSTRAK: Bahan bakar fosil akan habis dan meningkatkan gas CO₂ sebagai efek rumah kaca. Efek rumah kaca menyebabkan pemanasan global sehingga perlu menggeser teknologi tenaga ke energi terbarukan yang ramah lingkungan. Salah satu energi terbarukan adalah gasifikasi biomassa menjadi pengganti bahan bakar fosil. Saat ini, teknologi gasifikasi biomassa (downdraft gasifier dan updraft gasifier) menggunakan tekanan tinggi (aliran udara didorong) sehingga kerumitan sumplai bahan bakar biomassa ke reaktor dan memiliki resiko terjadinya ledakan[1]. Teknologi gasifikasi biomassa yang lebih mudah dan aman yaitu gasifikasi aliran searah (concurrent gasifier). Gasifikasi aliran searah menggunakan mekanisme aliran biomassa dan udara pada lubang yang sama dengan cara diisap melalui tekanan rendah (tekanan vakum). Proses gasifikasi biomassa menjadi gas yang mudah terbakar (syngas) memerlukan temperatur tinggi (800 – 1000 °C)[2]. Eksperimen gasifier aliran searah dilakukan dengan 2 jenis biomassa yaitu sekam padi dan temperung kelapa. Gasifier diuji menggunakan isolasi dan tanpa isolasi. Gasifier aliran searah tidak diisolasi menggunakan sekam padi menghasilkan temperatur reaktor sebesar 433°C dan biomassa temperung kelapa menghasilkan temperatur reaktor sebesar 473°C. Temperatur ini tidak memproduksi syngas dengan bukti tidak ada nyala api. Eksperimen gasifier aliran searah diisolasi 30 mm dengan biomassa sekam padi menghasilkan suhu sangat tinggi (1053 °C) dan nyala api akan tetapi mudah mati. Gasifikasi temperung kelapa reaktor diisolasi menghasilkan produksi syngas berupa nyala api selama 3 jam terus menerus dengan temperatur tertinggi pada reaktor sekitar 800°C. Pengujian variasi ketebalan isolasi reaktor (30 mm, 80 mm dan 130 mm) menghasilkan kemampuan menahan kalor atau penurunan temperatur berbeda-beda. Semakin tebal isolasi reaktor maka semakin kecil penurunan temperaturnya, isolasi tebal 130 mm menghasilkan penurunan temperatur 172°C, isolasi tebal 80 mm menghasilkan penurunan temperatur 198°C dan isolasi tebal 30 mm menghasilkan penurunan temperatur 301°C. Hasil uji gasifikasi biomassa temperung kelapa pada mesin generator 2 HP berbahan bakar bensin mampu menghasilkan daya keluaran listrik sebesar 457,8 Watt.

Kata Kunci :Biomassa, Gasifikasi, Isolasi, Sintetis Gas dan Listrik

I. PENDAHULUAN

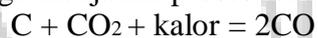
Ketersediaan bahan bakar fosil dipastikan akan habis dan tidak terbarukan. Konsekuensi pelepasan karbon terperangkap dalam bahan bakar fosil ke atmosfer dalam bentuk karbondioksida (CO₂) akan meningkatnya efek rumah kaca berupa pemanasan global. Ketahanan energi dan kerusakan lingkungan berupa pemanasan global, menggeser teknologi tenaga ke energi terbarukan yang ramah lingkungan. Indonesia merupakan negara agraris yang kaya potensi sumber daya energi alternatif berupa biomassa. Biomassa mudah didapat dan dijumpai dalam bentuk limbah produk pertanian seperti sekan, jerami, daun, ranting, batok kelapa dan lain-lain. Berdasarkan hasil penelitian, besar potensi residu pertanian diperkirakan sebesar 802,09 juta GJ[3].

Biomassa dapat dirubah menjadi sumber energi pengganti bahan bakar fosil dengan cara diproses gasifikasi menjadi sintesis gas yang mudah terbakar (*combustible gas*) sebagai pengganti bahan bakar bensin. Teknologi gasifikasi biomassa belum memasyarakat karena teknologi ini masih cukup rumit dibagian reaktor gasifikasi dibandingkan teknologi mesin tenaga bahan bakar bensin. Saat ini, teknologi gasifikasi biomassa (*downdraft gasifier* dan *updraft gasifier*) menggunakan aliran udara didorong sehingga reaktor bertekanan tinggi yang rentan meledak. Reaktor bertekanan tinggi memerlukan mekisme tersendiri sehingga menyulitkan penyuplaian bahan bakar biomassa masuk dalam reaktor dengan mudah[1]. Hal-hal tersebut mesin tenaga sistem gasifikasi biomassa belum memasyarakat dibandingkan mesin tenaga berbahan bakar bensin sehingga perlu pengembangan gasifier tekanan rendah.

Biomassa dapat dirubah menjadi sintesis gas mudah terbakar (*combustible gas*) dengan proses konversi termokimia. Proses termokimia adalah proses reaksi pembakaran biomassa menghasilkan panas dan reaksi gasifikasi menjadi mengubah biomassa menjadi sintesis gas (*syngas*). Sintesis gas berisi gas karbonmonoksida (CO) dan hidrogen (H₂) hasil produksi hasil gasifikasi biomassa. Reaksi termokimia proses pembakaran dapat diuraikan sebagai berikut [2]:



Selanjutnya produk reaksi pembakaran beserta kalor diarahkan sedemikian rupa sehingga menjalani proses reaksi gasifikasi sebagai berikut

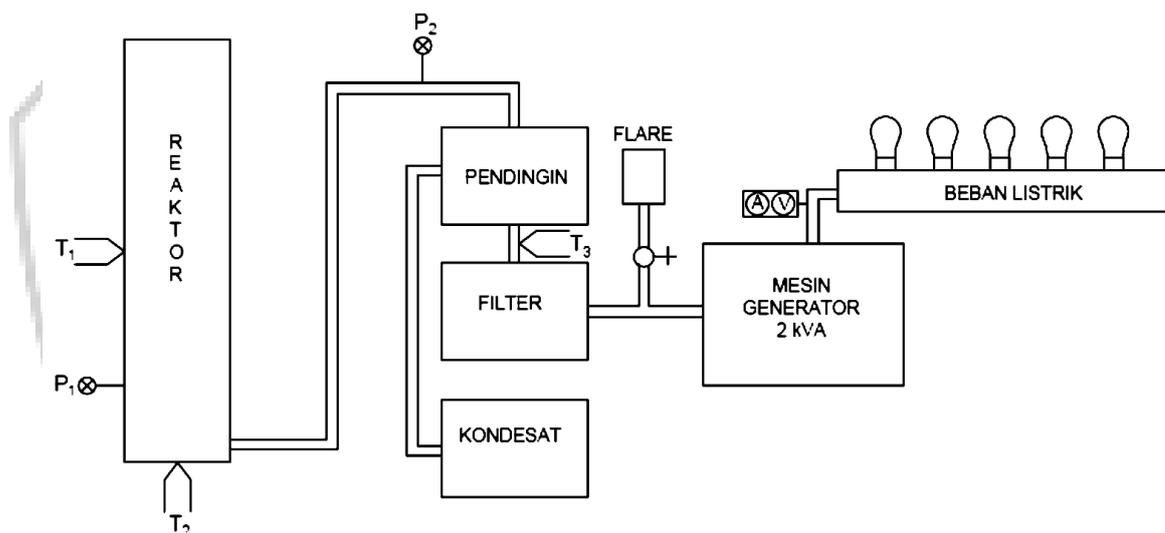


Proses reaksi gasifikasi dapat berlangsung sempurna dipengaruhi kalor reaksinya, kalor yang diperlukan untuk menghasilkan temperatur direntang 800 – 1000 °C, sehingga kalor yang dihasilkan proses reaksi pembakaran harus mampu ditahan dan selanjutnya digunakan reaksi gasifikasi.

II. REAKTOR ALIRAN SEARAH

Gasifier aliran searah (*concurrent gasifier*) adalah gasifier gasifikasi biomassa dengan aliran udara (oksigen) mengalir bersamaan bahan bakar biomassa ke reaktor. Aliran udara (oksigen) mengalir ke reaktor akibat tekanan rendah (tekanan vakum). Tekanan rendah pada reaktor dilakukan dengan cara pengisapan. Proses isapan ini tidak akan menghasilkan konsentrasi tekanan tinggi bila saluran tersumbat bahkan akan menghentikan aliran udara sehingga gasifier aliran searah akan lebih aman dibandingkan gasifier jenis aliran udara yang didorong. Selain itu, biomassa mampu tersuplai dengan mudah masuk reaktor karena bahan bakar biomassa secara bersamaan dengan aliran udara masuk akibat tekanan reaktor lebih rendah dari tekanan atmosfer.

Jenis biomassa yang diuji yaitu sekam padi dan temperung kelapa yang mudah didapat ditempat pengujian dan memiliki sifat yang densitas yang berbeda. Sekam padi bersifat densitas ringan dan temperung kelapa bersifat densitas padat. Produksi gasifikasi biomassa untuk menjalankan mesin penggerak generator kapasitas 5HP dengan sistem 4 langkah, bervolume 183 cc dan kecepatan putar 4000 rpm. Tampilan skema sistem gasifikasi biomassa ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Skema Tata Letak Eksperimental Gasifikasi Biomassa

Reaktor ini merupakan reaktor gasifier jenis baru, reaktor gasifier aliran searah. Reaktor ini dirancang atas pertimbangan tekanan rendah (vacuum pressure) dan mampu menahan kalor. Mekanisme kerja reaktor ini, bahan bakar biomassa dan aliran udara masuk pada lubang yang sama, aliran udara terjadi akibat terisap menggunakan eduktor atau isapan mesin[4]. Reaktor berbentuk silinder dari bahan besi baja berdiameter 10 cm (2 inci) dan reaktor diisolasi oleh bahan yang mampu menahan temperatur sampai dengan $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pengujian daya tahan laju isolasi panas dilakukan dengan 3 variasi ketebalan isolasi (30 mm, 80 mm dan 130 mm)[5]. Pendinginan syngas dengan konveksi bebas udara dengan panjang 6 m, diameter 2,54 cm yang terbuat dari pipa kuningan, dirancang menurunkan temperatur sampai dengan $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]. Bagian akhir sistem gasifikasi ini berupa filter dan penampungan kondesat.

Uji mesin motor bakar dilakukan mesin 4 langkah model EY20D dari Robin Engine kapasitas 183 cc, 4000 rpm dan daya maksimal 5 HP. Generator 1 phasa, 220 volt, 50 Hz untuk menyalakan lampu pijar sebanyak 5 buah @100 watt yang dihubungkan secara paralel. 3 sensor temperatur berupa termokopel tipe K ditempatkan dalam sistem, 1

sensor temperatur dinding reaktor untuk memonitor temperatur reaksi gasifikasi, 1 sensor temperatur dibawah reaktor untuk mengukur temperatur syngas dan 1 sensor temperatur dipendingin syngas. Alat pengukur tekanan vakum menggunakan manometer ditempatkan pada reaktor dan saluran syngas. Uji beban listrik menggunakan 5 lampu pijar @100 watt dihubungkan secara paralel. Daya beban listrik dengan mengukur tegangan dengan voltmeter dan arus listrik dengan ampermeter.

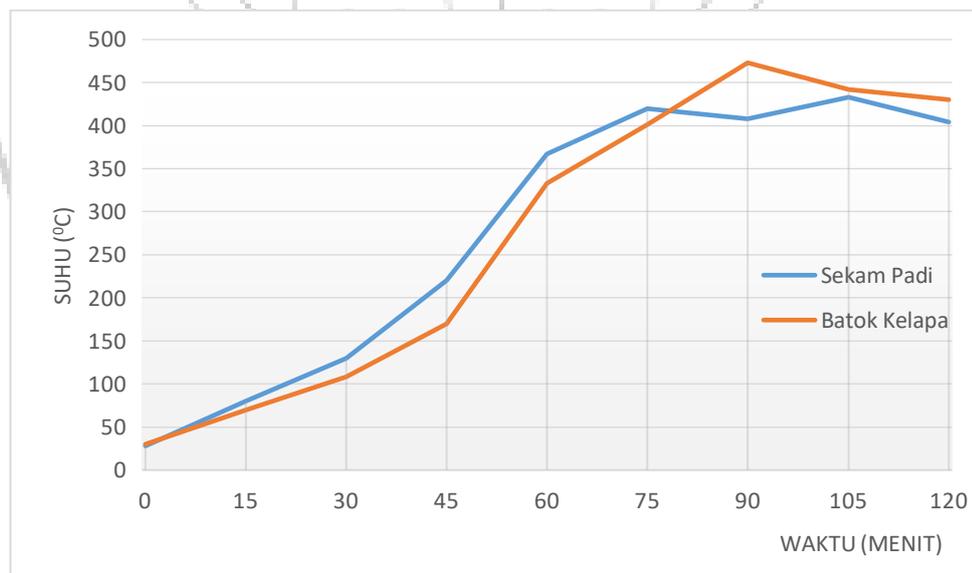
III. HASIL EKSPERIMEN

3.1. Reaktor Tanpa Isolasi

Pengujian reaktor tanpa isolasi dilakukan biomassa sekam padi dan temperung kelapa. Hasil pengujian nyala api ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Uji Nyala Api pada Reaktor Tanpa Isolasi[7]

Waktu (menit)	Suhu Sekam Padi (°C)	Suhu Batok Kelapa (°C)	Uji Nyala Api
0	28	30	Tidak Ada
15	80	70	Tidak Ada
30	130	108	Tidak Ada
45	220	170	Tidak Ada
60	367	333	Tidak Ada
75	420	401	Tidak Ada
90	408	473	Tidak Ada
105	433	442	Tidak Ada
120	404	430	Tidak Ada



Gambar 2. Suhu Reaktor Tanpa Isolasi[7]

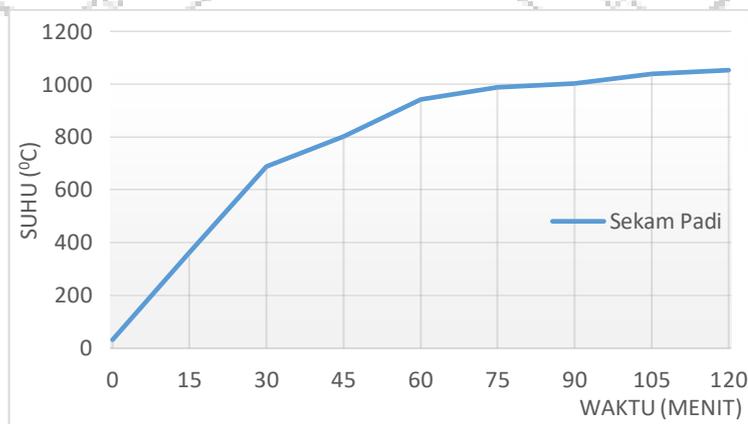
Hasil Uji Reaktor tanpa isolator menghasilkan temperatur dibawah 500 °C dan tidak terjadi nyala api pada cerobong api (*flare*). Berdasarkan hal ini bahwa gasifikasi biomassa menjadi gas dapat terbakar memerlukan temperatur diatas 500 °C (diatas 800 °C) sehingga reaktor harus diisolasi.

3.2. Reaktor Isolasi pada Biomassa Sekam Padi

Pengujian reaktor dengan isolasi tebal 30 mm dilakukan biomassa sekam padi. Hasil pengujian nyala api ditampilkan dalam Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Pengujian Reaktor Isolasi dengan Biomassa Sekam Padi[7]

Waktu (menit)	Suhu Sekam Padi (°C)	Uji Nyala Api
0	32	Tidak Ada
15	361	Tidak Ada
30	687	Tidak Ada
45	802	Ada Nyala Api
60	943	Tidak Ada
75	987	Ada Nyala Api
90	1003	Tidak Ada
105	1040	Tidak Ada
120	1053	Tidak Ada



Gambar 3. Suhu Reaktor Isolasi 30 mm Menggunakan Biomassa Sekam[7]

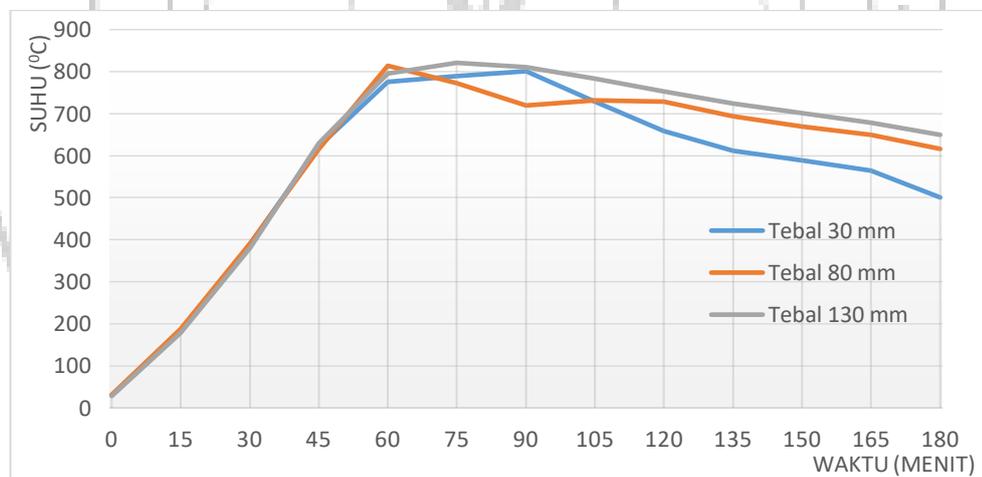
Hasil uji reaktor terisolasi 30 mm dengan biomassa sekam menghasilkan temperatur sampai dengan 1053°C, produk gas transparan dan beraroma khusus yang diprediksi syngas, nyala api yang tidak konstan dan mudah mati. Penyebab nyala api mudah mati diprediksi reaktor tersumbat oleh arang sekam yang menyebabkan nyala api mudah mati pada cerobong api. Pada proses pengujian ini menghasilkan temperatur sampai dengan 1050 °C dan kecenderungan terus naiknya temperaturnya maka pengujian dihentikan karena reaktor dirancang untuk temperatur 1000 °C (keterbatasan material reaktor).

3.3. Reaktor dengan Variasi Ketebalan Isolasi pada Biomassa Batok Kelapa

Pengujian selanjutnya dilakukan ketebalan isolator yang bervariasi yaitu 30 mm, 80 mm, dan 130 mm dengan biomassa temperung kelapa. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 4.

Tabel 3. Pengujian Reaktor dengan Variasi Ketebalan Isolasi Menggunakan Biomassa Teperung Kelapa[7]

Waktu (menit)	Tebal 30 mm (°C)	Tebal 80 mm (°C)	Tebal 130 mm (°C)	Uji Nyala Api
0	30	31	28	Tidak Ada
15	182	188	179	Tidak Ada
30	389	392	380	Tidak Ada
45	622	616	630	Ada Nyala Api
60	775	814	795	Ada Nyala Api
75	789	772	821	Ada Nyala Api
90	801	720	810	Ada Nyala Api
105	728	731	784	Ada Nyala Api
120	658	729	753	Ada Nyala Api
135	612	694	724	Ada Nyala Api
150	589	669	701	Ada Nyala Api
165	565	650	679	Ada Nyala Api
180	500	616	649	Ada Nyala Api



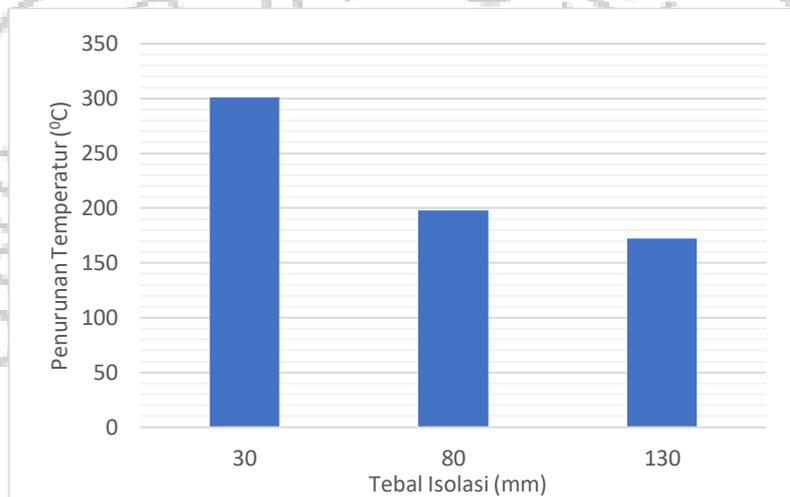
Gambar 4. Suhu Reaktor Isolasi 30 mm, 80 mm dan 130 mm Menggunakan Biomassa Temperung Kelapa[7]

Hasil uji biomassa temperung kelapa dengan reaktor telah diisolasi mampu menghasilkan gas yang dapat dibakar pada temperatur reaktor diatas 600 °C. Temperatur maksimum semua ketebalan isolator terjadi sekitar 800 °C, selanjutnya mengalami penurunan temperatur. Reaktor dengan ketebalan isolasi 30 mm mengalami penurunan temperatur terbesar dari temperatur puncak sebesar 301 °C, reaktor tebal isolasi 80 mm mengalamai penurunan 198°C dan reaktor tebal isolasi 130 mm mengalami penurunan temperatur yang paling kecil sebesar 172 °C. Semakin tebal isolasi maka kemampuan menahan kalor akan lebih baik dan produksi syngas semakin

baik pula dengan dibuktikan nyala api yang dihasilkan pada cerebong api. Penurunan temperatur menunjukkan reaktor yang diisolasi dengan tebal 130 mm masih belum mampu menahan kalor tetap berada diatas 800 °C. Berdasarkan hal tersebut, reaktor perlu diisolasi dibagian sisi dalamnya agar mampu menahan temperatur tinggi dan menjaga material utama reaktor tidak mengalami kerusakan.

Tabel 4. Penurunan Temperatur terhadap Variasi Ketebalan Isolasi [7]

No	Tebal Isolasi (mm)	Penurunan Temperatur (°C)
1	30	301
2	80	198
3	130	172



Gambar 5. Penurunan Temperatur terhadap Ketebalan Isolasi[7]



Gambar 6. Pengujian Nyala Api dan Pengukuran Temperatur Reaktor

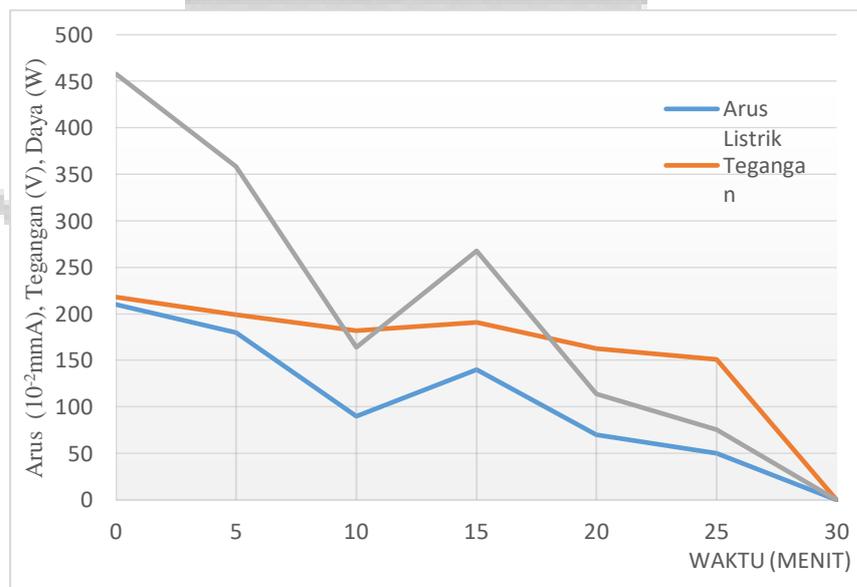
Nyala api yang dihasilkan masih dalam pengujian ini masih terkendala berupa nyala api tidak konstan walaupun tidak sampai mati, diprediksi saluran reaktor mengalami penyumbatan oleh arang sehingga aliran udara dan syngas menjadi kurang lancar. Reaktor harus mampu menahan kalor dan mampu menampung arang lebih besar lagi.

3.4. Pengujian Gasifikasi Biomassa Menjadi Listrik

Serangkaian pengujian gasifikasi biomassa temperung kelapa menjadi gas dapat terbakar berupa nyala api selama 3 jam, selanjutnya pengujian ketahanan uji pada mesin generator 5 HP menjadi listrik. Pengukuran ujuk kerja listrik pada mesin generator 25 HP setelah mesin generator hidup dengan mengukur kuat arus listrik (ampere), tegangan listrik (volt), dan menghitung daya keluaran yang dipakai oleh lampu pijar @100 watt. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 6.

Tabel 5. Uji Listrik[8]

Waktu (menit)	Arus Listrik (10^{-2} mA)	Tegangan (Volt)	Daya Listrik (Watt)
0	210	218	457.8
5	180	199	358.2
10	90	182	163.8
15	140	191	267.4
20	70	163	114.1
25	50	151	75.5
30	0	0	0



Gambar 7. Pengukuran Arus, Tegangan dan Daya Listrik[8]



Gambar 8. Uji Gasifikasi Biomassa Jadi Listrik

Berdasarkan hasil pengujian gasifikasi biomassa reaktor aliran searah pada biomassa tempurung kelapa sebagai pengganti bahan bakar bensin mampu menghasilkan listrik dengan daya maksimum 457,8 Watt, arus listrik 210×10^{-2} mA dan tegangan 218 Volt. Mesin generator mampu nyala selama 25 menit, hal dapat dilihat pada gambar 7 berupa grafik pengukuran daya listrik yang semakin menurun. Kendala-kendala ini diprediksi karena reaktor belum mampu mempertahankan kalor (temperatur) pada suhu diatas 800°C , suplai biomassa temperatur kelapa dilakukan secara manual, atau tersumbatnya saluran reaktor ke mesin generator.

IV. Kesimpulan

Penelitian tentang gasifikasi biomassa pengganti bahan bakar bensin pada mesin generator 5 HP dapat dilakukan dengan reaktor aliran searah pada tekanan rendah. Dua jenis biomassa sekam padi dan tempurung kelapa. Penelitian ini mengungkapkan bahwa reaktor aliran searah yang tidak diisolasi tidak mampu menghasilkan syngas (gas dapat terbakar). Biomassa sekam padi mampu menghasilkan suhu reaktor sangat tinggi (1053°C) sehingga menjadi kendala daya tahan material terhadap temperatur tinggi. Biomassa tempurung kelapa mampu menjadi syngas yang menjadi nyala api dengan suhu tertinggi sekitar 800°C . Ketebalan isolasi mempengaruhi kemampuan menahan kalor didalam reaktor, ketebalan isolasi 130 mm mampu mempertahankan kalor dalam reaktor dengan penurunan temperatur 172 dibanding ketebalan yang semakin tipis akan memperbesar rugi-rugi kalor lebih besar. Produk gasifikasi biomassa tempurung kelapa mampu kompatibel dengan mesin generator berbahan bakar bensin dengan daya 478,8 Watt dan selanjutnya menurun hingga mati disebabkan akibat tidak mampu reaktor menahan kalor tetap terjaga ditemperatur diatas 800°C .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. B. Reed and A. Das, Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, Golden, Colorado: U.S. Department of Energy, 1998.
- [2] Ajay Kumar, D. D. Jones dan M. A. Hanna, "Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology," *Energies* 2009, 2, ISSN 1996-1073, p. 26, 21 July 2009.
- [3] Pratowo dan Bambang, "Potensi Sektor Pertanian Sebagai Penghasil dan Pengguna Energi Terbarukan," Vol. 1 dari 2 Vol. 6 No. 2. ISSN: 1412-8004., 2007.
- [4] Rifqi, Novandri dan Muhtar, Pembuatan Dan Pengujian Alat Eduktur Pada Sistem Reaktor Gasifikasi Biomassa Temperung Kelapa, Subang, Indonesia: FT Unsub, 2019.
- [5] Komarudin, Muhtar dan Novandri, Perancangan Sistem Isolator Reaktor Gasifikasi Biomassa Temperung Kelapa Untuk Pengganti Bahan Bakar Bensin Generator 2 kVA, Subang, Indonesia: FT Unsub, 2019.
- [6] Ayudi, Novandri dan Muhtar, Perancangan Sistem Pendingin Pada Gasifikasi Biomassa Batok Kelapa Untuk Pengganti Bahan Bakar Bensin Mesin Generator 2 kVA, Subang: FT Unsub, 2019.
- [7] Acep, Novandri dan Muhtar, Pembuatan dan Pengujian Isolator Reaktor Gasifikasi Biomassa Batok Kelapa Untuk Pengganti Bahan Bakar Bensin Mesin Generator 2 kVA, Subang, Indonesia: FT Unsub, 2019.
- [8] Roni, Novandri dan Muhtar, Pengujian Performasi Reaktor Gasifikasi Biomassa Pengganti Baha Bakar Bensin pada Mesin Generator 5 kVA, Subang, Indonesia: FT Unsub, 2019.