

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Skala Kecil Berbasis Mesin Stirling

Rany Puspita Dewi*, Wandu Arnandi

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Suparman 39, Magelang 56116 Telp. (0293) 364113

*E-mail: ranyuspita@untidar.ac.id

Abstract

Electricity needs has increased along with the increasing of people. Majority comes from fossil energy. Utilization of biomass energy from rice husk became prospective solution to fulfill electricity needs now days. It can be seen from the rice husk potential in Indonesia at 2015 for about 15,079,568 tons. Rice husk can be used to generate the electricity by using stirling engine. The research aims to study the effect of combustion air flow to the efficiency of biomass power plants based on stirling engine. It was to know the optimum condition the power plant. Research was done by experimental method with design and test the prototype of biomass power plant integrated with downdraft gasifier and alternator. Test was done by varying combustion air flow with open valve angle about 30 °; 45 °; and 60 °. The highest temperature was obtained at an open valve angle 30 ° and with stirring.

Keywords: rice husk, gasifier, electricity, stirling engine

Abstrak

Kebutuhan listrik terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Mayoritas listrik yang digunakan berasal dari energi fosil. Penggunaan energi biomassa yang berasal dari sekam padi menjadi solusi prospektif untuk memenuhi kebutuhan listrik saat ini. Hal ini terlihat dari potensi sekam padi di Indonesia pada tahun 2015 yaitu sekitar 15.079.568 ton. Sekam padi dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan mesin stirling. Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji pengaruh laju udara pembakaran terhadap efisiensi pembangkit listrik biomassa berbasis mesin stirling. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum pembangkit listrik. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan rancang bangun dan pengujian *prototype* pembangkit listrik yang terintegrasi dengan tungku gasifikasi *downdraft* dan alternator. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan laju udara pembakaran pada sudut kran 30°; 45°; and 60°. Temperatur tertinggi diperoleh pada sudut buka kran 30° dan dengan dilakukan pengadukan.

Kata kunci: sekam padi, tungku gasifikasi, listrik, mesin stirling

1. Pendahuluan

Listrik menjadi salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan manusia. Pada tahun 2015 misalnya, konsumsi energi listrik meningkat sebesar 11.224 MWh dengan bertambahnya jumlah penduduk sebesar 3.296.900 [1]. Rasio elektrifikasi yang masih rendah juga menunjukkan masih banyaknya wilayah di Indonesia yang belum terjangkau listrik. Pemerintah mengeluarkan kebijakan terkait dengan energi terbarukan sebagai salah satu energi alternative dengan target 23% pada tahun 2025. Salah satu sumber biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal dan memiliki potensi yang menjanjikan adalah sekam padi. Sekam padi memiliki nilai volatile matter 69,39% dan nilai kalor 3386,3 kalori/kg [2]. Selain sekam padi juga memiliki selulosa yang cukup tinggi untuk dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil [3]. Pembangkitan listrik dengan sekam padi sudah mulai dikembangkan di Indonesia. Pembangkit listrik cenderung berukuran besar dan kurang praktis apabila digunakan dalam skala rumah tangga. Pemanfaatan sekam padi sebagai energi listrik dapat dilakukan dengan teknologi gasifikasi. Metode lainnya adalah dengan menggunakan mesin stirling [4]. Pengembangan dan kajian tentang pembangkit listrik sekam padi diperlukan dalam upaya pemanfaatan sekam padi sebagai salah satu bahan bakar alternatif pengganti gas LPG untuk penggunaan pada skala rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kondisi operasi pembangkit listrik terhadap karakteristik temperatur syngas.

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi bulir beras dan diperoleh pada saat proses penggilingan beras. Sekam padi dapat didefinisikan sebagai biomassa. Sekam padi tersusun atas dua bagian yaitu bagian organik (70-85%) dan bahan anorganik dengan komponen utama lain berupa lignin dan selulosa. Kadar selulosa yang tinggi pada sekam padi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil. Selama ini 20-30% sekam padi hanya sebatas digunakan sebagai media tanam dan dibakar begitu saja sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Sekam padi berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, salah satunya digunakan sebagai umpan *gasifier*. Ketersediaan sekam padi di dunia berkisar $1,2 \times 10^9$ GJ/tahun dengan nilai kalor rata-rata 15 MJ/kg [5].

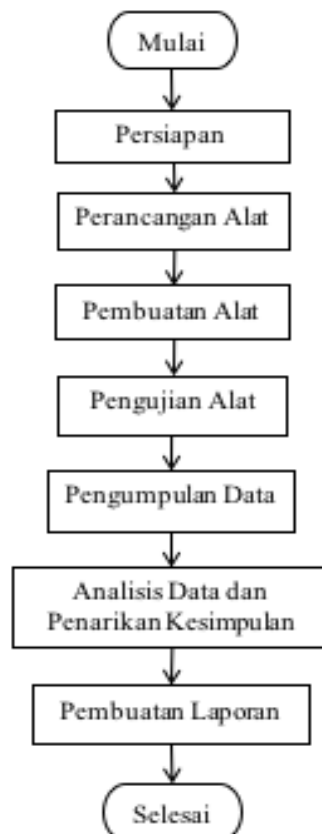
Gasifikasi merupakan proses konversi biomassa padat menjadi gas melalui proses termokimia dengan menggunakan reactor *gasifier*. Salah satu jenis *gasifier* yang sering digunakan dalam proses gasifikasi adalah *gasifier* tipe *downdraft*. Proses gasifikasi pada *gasifier* tipe *downdraft* meliputi pengeringan (*drying*), pirolisis, oksidasi (*oxydation*), dan reduksi (*reduction*). Keuntungan *gasifier* tipe *downdraft* adalah dapat digunakan pada proses gasifikasi yang terintegrasi dengan adanya penambahan pengeluaran sisa hasil pembakaran (abu) yang baik. Gasifikasi sekam padi dapat terjadi dengan pemenuhan kebutuhan 30-40% udara stokiometri (4,7 kg udara/kg sekam padi). Faktor-faktor yang mempengaruhi gasifikasi biomassa [6] meliputi kandungan energi biomassa, kandungan air biomassa, bentuk serta ukuran biomassa, distribusi ukuran biomassa, dan temperatur reaktor gasifikasi.

Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi dapat dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan mesin stirling. Mesin stirling merupakan mesin kalor yang beroperasi ekspansi dan kompresi termal gas untuk mengasilkan kerja [7]. Pada penelitian ini menggunakan mesin stirling tipe beta yang beroperasi berdasarkan siklus stirling. Siklus stirling ideal terdiri dari empat proses termodinamika yaitu proses ekspansi dan kompresi isothermal dan pemanasan dan pendinginan pada volume tetap. Efisiensi mesin stirling dapat ditingkatkan dengan memperbesar beda temperatur antara ruang pemanas dan pendingin, dan memperkecil *dead volume* [8].

2. Material dan metode penelitian

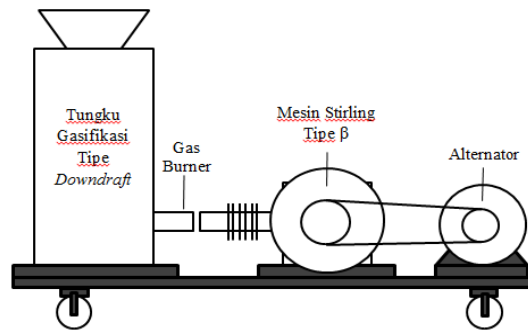
Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Proses pelaksanaan penelitian terjadi beberapa tahap meliputi persiapan alat dan bahan; perancangan alat dengan menggunakan *software AutoCAD* sesuai dengan hasil dari perhitungan numeris; pembuatan alat sesuai dengan rancangan; pengumpulan data temperature *syngas* dengan tiga variasi laju udara; analisis data dan penarikan kesimpulan.

Sekam padi yang digunakan diperoleh dari tempat penggilingan padi di Dusun Jetakan, Desa Jogonegoro, Kabupaten Magelang. Sebelum digunakan sebagai umpan *gasifier*, terlebih dahulu dilakukan pengukuran dan pengujian untuk mengetahui sifat fisis dan komposisi sekam padi. Penelitian diawali dengan melakukan pengujian karakteristik proksimat dan ultimat sekam padi. Uji komposisi dan nilai kalor sekam padi dilakukan di laboratorium LPPT Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Uji kadar air dan kadar abu menggunakan metode *gravimetric* dan uji nilai kalor menggunakan metode *bomb calorimeter*. Hasil pengukuran sifat fisis dan uji komposisi sekam padi yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 1. Pemeriksaan sifat bahan biomassa ini diperlukan sebelum merancang sebuah proses gasifikasi [9].



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah prototip pembangkit listrik tenaga sekam padi berbasis mesin stirling seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alat penelitian

Tabel 1. Karakteristik sekam padi yang digunakan

Parameter	Nilai
Massa jenis	165,8 kg/m ³
Panjang bulir	±1 cm
Nilai kalor	3060,21 kal/g
Kadar air	9 %
Kadar abu	37,98 %
Kadar karbon	24,42 %

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan selama pengujian alat. Analisa data dilakukan dalam bentuk grafik daya dan efisiensi sistem terhadap waktu pada berbagai variasi laju udara pembakaran untuk mendapatkan kondisi operasi kerja optimum pembangkit listrik tenaga biomassa sekam padi berbasis mesin stirling.

3. Hasil Dan Pembahasan

Melalui perhitungan numeris dimensi tungku gasifikasi, maka diperoleh konstruksi tungku gasifikasi untuk pembangkit listrik tenaga biomassa seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tungku gasifikasi terdiri dari beberapa bagian yaitu saluran udara, pengaduk, *blower*, reaktor, saluran *syngas*, kran utama, dan penampung abu. Tungku gasifikasi yang digunakan merupakan tungku gasifikasi tipe *downdraft* dengan tujuan untuk mengurangi kandungan tar hasil proses gasifikasi. Spesifikasi *gasifier* yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 2.

Temperatur *syngas* diukur dengan cara melakukan variasi laju udara pembakaran dengan pembukaan sudut kran 30°, 45°, dan 60°. Untuk tiap variasi laju udara, temperatur *syngas* diukur menggunakan *thermocouple* tipe K dan dicatat setiap 5 menit selama waktu pengoperasian (sejak tungku dinyalakan sampai sekam padi dalam reaktor habis) sambil dilakukan penyalaaan *syngas*. *Gasifier* tipe *downdraft* dipilih dengan tujuan untuk mengurangi kandungan tar hasil dari proses gasifikasi dan memiliki tingkat efisiensi konversi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe *gasifier* yang lain.



Gambar 3. Konstruksi *gasifier*

Tabel 2. Spesifikasi *gasifier*

Parameter	Spesifikasi
Tipe	<i>Downdraft throatless</i>
Diameter reaktor	170 mm
Tinggi reaktor	400 mm
Kapasitas reaktor	1 kg
Nozel	4 buah, Ø
Jarak saluran udara dengan <i>grate</i>	85 mm
<i>Blower</i>	2" 150 W

Laju rata-rata udara yang keluar dari keempat nozel yang diukur menggunakan anemometer ditunjukkan dalam Tabel 3. Penggunaan udara sebagai *gasifying agent* sering digunakan dikarenakan lebih murah dibandingkan dengan *gasifying agent* lainnya. Biasanya suplai udara yang digunakan diperoleh dari *blower* [10].

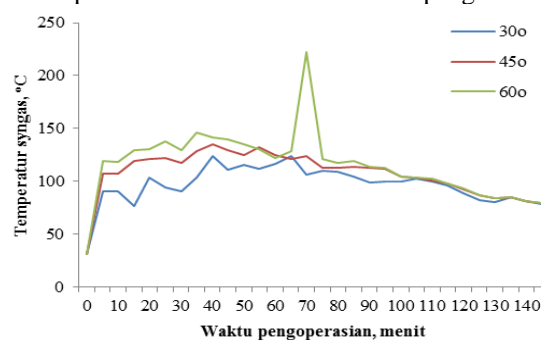
Tabel 3. Laju udara

Sudut kran	Laju udara (m/s)			
	1	2	3	4
30°	1,2	0,9	0,5	1,5
45°	2,2	2,7	2,2	2,2
60°	3,2	3,1	3,2	3,2

Untuk tiap variasi laju udara, temperatur *syngas* diukur menggunakan *thermocouple* tipe K dan dicatat setiap 5 menit selama waktu pengoperasian (sejak tungku dinyalakan sampai sekam padi dalam reaktor habis) sambil dilakukan penyalaaan *syngas*.

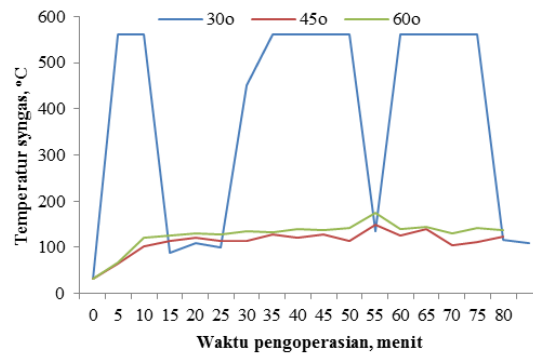
Prosedur penyalaaan *gasifier* meliputi beberapa proses yaitu memasukkan sekam padi ke dalam reaktor *gasifier* sampai pada batas daerah oksidasi; menyalakan sekam padi dengan sedikit pemantik agar mudah terbakar; menghidupkan *blower* sebagai penyuplai udara; membuka sedikit kran utama; menambahkan sekam padi sedikit demi sedikit sampai seluruh reaktor terisi; menutup rapat reaktor, setelah sekam padi mulai menunjukkan adanya bara api; membuka kran utama sesuai dengan variasi laju udara yang telah ditentukan; dan mencatat temperatur *syngas* yang keluar setiap 5 menit dengan menggunakan *thermocouple* tipe K. Prosedur penyalaaan ini berlaku untuk dua mode operasi yaitu tanpa melakukan pengadukan sekam padi dan dengan melakukan pengadukan sekam padi.

Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan karakteristik temperatur *syngas* hasil pengujian *gasifier* dalam 2 mode operasi. Pada mode operasi 1, Pada saat sudut buka kran 30°, rata-rata temperatur *syngas* adalah 94,48°C. Pada sudut buka kran 45°, rata-rata temperatur *syngas* adalah 105,39°C. Dan pada sudut buka kran 60°, rata-rata temperatur *syngas* adalah 113,48°C. Pada mode ini, temperatur *syngas* masih rendah, hal ini dikarenakan proses gasifikasi yang terjadi belum sempurna. Pada 40 menit pertama temperatur *syngas* cenderung naik, kemudian turun hingga menit ke 145. Setelah 145 menit waktu pengoperasian, *syngas* tidak lagi keluar melalui saluran gas. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh tertutupnya lubang *grate* akibat pemadatan abu sekam yang mengakibatkan aliran *syngas* terhalang. Lubang *grate* yang dirancang pada *gasifier* dinilai masih terlalu kecil untuk dapat menyalurkan residu abu selama proses gasifikasi terjadi. Pada mode operasi 1, terlihat bahwa temperatur pembakaran juga tidak stabil, disebabkan karena distribusi sekam padi dalam tungku tidak merata dikarenakan pada mode 1 ini tidak dilakukan pengadukan sekam padi.

**Gambar 4.** Karakteristik *syngas* mode 1

Gambar 4 menunjukkan bahwa temperatur *syngas* berbanding lurus dengan laju udara, semakin besar laju udara, temperatur *syngas* semakin tinggi. Hal ini dikarenakan komposisi oksigen yang diberikan semakin tinggi dan semakin banyak sekam padi yang terbakar. Selain itu, hal ini juga dikarenakan pada laju udara yang semakin besar, *equivalence ratio* meningkat. Nilai *equivalence ratio* yang meningkat dapat meningkatkan komposisi gas CO₂ dan H₂O dikarenakan proses pembakaran yang terjadi mendekati proses pembakaran sempurna. Pada mode operasi ini, nyala api *syngas* tidak terbentuk. Tidak terjadinya nyala api disebabkan kehadiran gas CO₂ dan H₂O mengakibatkan presentase dari gas yang

terbakar CO dan H₂ turun sehingga *heating value* juga mengalami penurunan. Fluktuasi temperatur *syngas* juga salah satunya dipengaruhi oleh ketidakseragaman kadar air yang terkandung dalam sekam padi, sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan kecepatan pembakaran sekam padi pada saat proses oksidasi.



Gambar 4. Karakteristik *syngas* mode 2

Pada sudut buka kran 30°, temperatur *syngas* meningkat tajam di beberapa menit setelah tungku dinyalakan dan kembali turun pada menit ke-20 sesuai dengan Gambar 5. Temperatur *syngas* mengalami fluktuasi nilai dimungkinkan karena terjadinya distribusi panas yang tidak merata di dalam reaktor. Pada sudut buka kran 45° dan 60°, temperatur *syngas* tidak mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu berkisar antara 50°C - 180°C. Pada saat sudut buka kran 30°, rata-rata temperatur *syngas* adalah 374,44°C. Pada sudut buka kran 45°, rata-rata temperatur *syngas* adalah 113,33°C. Pada sudut buka kran 60°, rata-rata temperatur *syngas* adalah 127,06°C.

Pengadukan pada mode 2 yang dilakukan dengan menggunakan pengaduk dari arah vertikal dinilai kurang maksimal. Hal ini dikarenakan terdapat ruang kosong pada reaktor, karena pengadukan yang dilakukan tidak merata ke seluruh bagian reaktor dan hanya menjangkau bagian atas reaktor. Pengadukan yang tidak seragam ini mengakibatkan sebagian besar sekam padi tertahan dan *syngas* yang keluar tidak sebanyak yang seharusnya dihasilkan selama proses gasifikasi. Zona proses reduksi akan berkurang dan bahkan cenderung tidak ada, sehingga tidak menghasilkan *syngas*.

Pada mode 2, pembakaran gas burner hasil proses gasifikasi masih belum stabil, kadang terbentuk dan kadang hilang. Hal ini disebabkan karena proses gasifikasi yang terjadi belum berjalan dengan cukup baik. Tidak stabilnya *syngas* yang dihasilkan kemungkinan juga disebabkan oleh besarnya laju udara yang disuplai oleh *blower* ke dalam *gasifier*. Hal ini dapat diminimalisasi dengan menstabilkan proses gasifikasi dengan memperbaiki laju aliran sekam padi ke daerah reduksi. Selain itu, bahan yang digunakan sebagai insulator *gasifier* dinilai juga masih belum terlalu efektif, karena masih adanya rugi-rugi panas selama proses gasifikasi. Hal ini dapat menjadi kajian lebih lanjut pada penelitian yang selanjutnya dengan menggunakan insulator dari bahan-bahan yang lain.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *equivalence ratio* yang meningkat dapat menurunkan jumlah gas terbakar yang terbentuk. Jumlah gas terbakar yang terbentuk dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah bahan bakar untuk mengimbangi nilai *equivalence ratio* yang tinggi. Temperatur tertinggi diperoleh ketika *syngas* dapat menyala, yaitu pada sudut buka kran 30° dan dengan dilakukan pengadukan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini, kepada Universitas Tidar dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konversi Energi. Buku Statistik EBTKE 2016: <http://ebtke.esdm.go.id/download/file> Diakses tanggal 27 April 2017
- [2] Triyanto. 2016. Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Ampas Aren, Sekam Padi, dan Batu Bara Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin; 17 (1): 1-7.
- [3] Tajjali. 2015. Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia. Penabulu Alience.
- [4] Damirchi H., Najafi, G., Alizadehnia, S., Mamat, R., Azwadi, C.S.N., Azmi, W.H., Noor, M.M. 2016. Micro Combined Heat and Power to provide heat and electrical power using biomass and Gamma-tye Stirling engine. Applied Thermal Engineering; 103: 1460-1469.
- [5] Saputra, N. 2016. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Sekam Padi Tipe Downdraft Kontinu. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- [6] Belonio, A T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Technology Center, Department of Agricultural and Environmental Management. Phillipines.
- [7] C C Kwasi-Effah, A I Obanor, F A Aisien. 2015. Stirling Engine Technology: A Technical Approach to Balance The Use of Renewable and Non-Renewable Energy Sources. *American Journal of Renewable and Sustainable Energy*; 1 (3): 156-165.
- [8] Asnaghi A, Ladjervadi S M , Izadkhast P S, Kashani A H. 2012. Thermodynamics Performance Analysis of Solar Stirling Engines. *ISRN Renewable Energy*; 2012: 1-14.
- [9] Asian Biomass Handbook. 2008. *The Asian Biomass Handbook*. The Japan Institute of Energy. Japan
- [10] Suliono, Sudarmanta B. Dionisius F, Maolana I. 2017. Studi Karakteristik Gasifikasi Tipe Downdraft Serbuk Kayu Dengan Variasi Equivalensi Ratio. *Jurnal Teknologi Terapan*; 3 (2) 2: 37-43.