

Konversi Limbah Sekam Padi Menjadi *Compressed Producer Gas*

Anak Agung Putu Susastriawan¹, Ani Purwanti², Suparni Setyowati Rahayu³

¹Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

²Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

³Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

*Koresponden email: agung589E@akprind.ac.id

Diterima: 8 Agustus 2022

Disetujui: 18 Agustus 2022

Abstract

Producer gas from biomass gasification has been widely used as a fuel of an internal combustion engine as well as a fuel of a gas burner. However, it is only direct utilization in site of the producer gas so far. No storage producer gas, such as compressed natural gas so far. Thus, the present work aims to investigate a potential of producing compressed producer gas (CPG) from rice husk gasification. The experimental work is started with production of the CPG and followed by testing of flammability of the CPG directly from the compressor (in 1st stage work) and from the CPG tank (in 2nd stage work). During the test, flame image, flame temperature, and flammability duration are investigated. The results show that CPG can be produced from rice husk gasification under compression pressure of 6 bar. To enhance energy content of the CPG, the producer gas should be purified and upgraded before compressing into the tank in the future work.

Keywords: CPG, conversion, gasification, producer gas, rice husk

Abstrak

Produser gas dari gasifikasi biomassa telah banyak digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam serta bahan bakar kompor gas. Namun, selama ini produser gas baru dimanfaatkan secara langsung tanpa adanya penyimpanan, seperti gas alam terkompresi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi konversi sekam padi menjadi *Compressed Producer Gas* (CPG) melalui proses gasifikasi dengan tungku gasifikasi model aliran ke bawah. Riset dimulai dengan produksi CPG dan dilanjutkan dengan pengujian mampu nyala CPG langsung dari kompresor (tahap 1) dan dari tangki CPG 3 kg dan 12 kg (tahap 2). Selama pengujian, dilakukan pengambilan data berupa foto nyala api, temperatur nyala api, dan durasi nyala. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CPG dapat dihasilkan dari gasifikasi sekam padi pada tekanan kompresi 6 bar. Untuk meningkatkan kandungan energi CPG, pada penelitian selanjutnya diperlukan optimasi proses purifikasi *produser gas* sebelum dilakukan kompresi ke dalam tabung.

Kata Kunci: CPG, gasifikasi, konversi, produser gas, sekam padi

1. Pendahuluan

Upaya mengatasi masalah keterbatasan energi konvensional dan pemanasan global, pencarian sumber energi alternatif dan terbarukan meningkat secara signifikan di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Limbah biomassa, salah satu dari sekian banyak sumber energi alternatif dan terbarukan, semakin mendapat perhatian dalam satu dekade terakhir. Limbah biomassa dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas yang berguna yang dikenal sebagai *produser gas* melalui proses gasifikasi yang berlangsung di dalam reaktor yang disebut *gasifier*. Gasifikasi merupakan proses termokimia melalui rangkaian reaksi pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi [1] [2]. Berbeda dengan pembakaran, proses gasifikasi membutuhkan jumlah oksidator yang lebih sedikit. Ref. [3] menemukan rasio ekuivalen yang efektif untuk gasifikasi biomassa adalah 0,25- 0,32. Pada umumnya, *produser gas* mengandung gas CO, H₂, dan CH₄ yang mudah terbakar serta gas yang tidak dapat terbakar CO₂ dan N₂ ketika udara digunakan sebagai oksidator. Pembakaran *produser gas* lebih bersih daripada pembakaran langsung biomassa [4]. Gasifikasi merupakan metode yang paling menarik dalam konversi limbah biomassa menjadi bahan bakar gas [5].

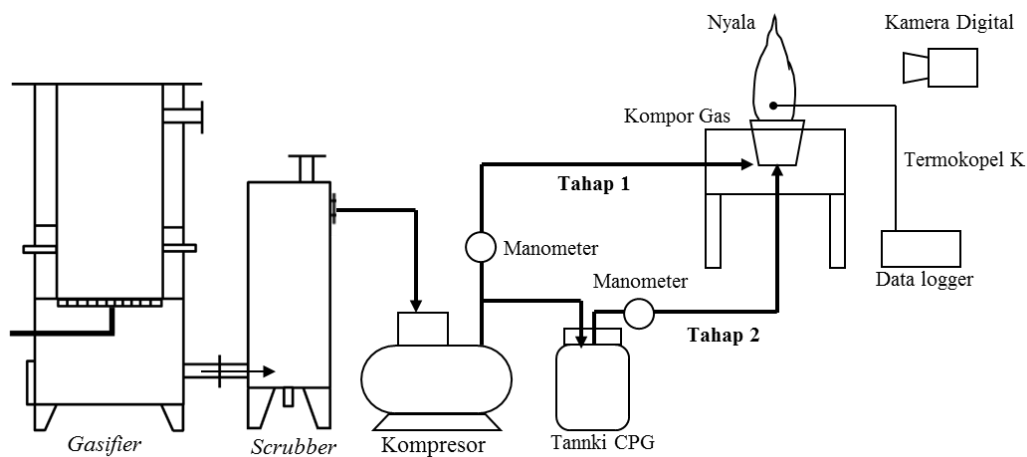
Produser gas dapat digunakan sebagai bahan bakar kompor atau bahan bakar mesin pembakaran dalam. Kompor dengan bahan bakar produser gas telah dilaporkan oleh beberapa peneliti sejauh ini [6-8]. Ref. [6] mengembangkan kompor berbasis *gasifier* tipe *updraft* skala kecil dengan kapasitas nominal 2,5 kW. Kompor memiliki efisiensi maksimum hampir mencapai 80%. Ref. [7] melaporkan bahwa kompor *produser gas* tipe *Top Lit Updraft (TLUD)* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan kompor konvensional. Emisi dan efisiensi bervariasi secara substansial dengan jenis bahan bakar, dan peningkatan emisi CO berkorelasi dengan laju bahan bakar. Efisiensi termal tertinggi sebesar 42% dengan emisi CO dan

PM terendah sebesar 0,6 g/MJd dan 48 g/MJd [8]. Sementara itu, beberapa penelitian tentang aplikasi *produser gas* sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam juga telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya. Disebutkan bahwa efisiensi keseluruhan Genset 75 kWe berbahan bakar *produser gas* adalah sebesar 21% pada beban 85% [9]. Sedangkan efisiensi termal mesin diesel penggerak genset 62,5 kW menurun sekitar 8% ketika *produser gas* sebanyak 30% ditambahkan sebagai bahan bakar sekunder [10]. Meskipun performa mesin berkurang saat menggunakan *produser gas*, tetapi banyak sistem *gasifier* - mesin pembakaran dalam telah berhasil dikembangkan di seluruh dunia. Ref. [11] dan Ref. [12] mengembangkan sistem *gasifier*- mesin pembakaran dalam dengan *feedstock* limbah furnitur dan kayu *Eucalyptus*. Sementara itu, sistem *gasifier* - mesin pembakaran dalam dengan *feedstock* sekam padi skala kecil juga telah berhasil dikembangkan oleh Ref. [13].

Selama ini, aplikasi *produser gas* langsung digunakan di lokasi (*on site*). Dengan demikian, gas tidak dapat digunakan di lokasi lain. Untuk mengatasi masalah tersebut, *produser gas* harus disimpan dalam sebuah tangki, yaitu *produser terkompresi terkompresi* (CPG). Namun, belum ada penelitian terdahulu tentang CPG yang bisa dijadikan acuan dalam pengembangan CPG. Konsep serupa dari gas biomassa terkompresi dapat ditemukan pada biogas terkompresi [14]. Untuk mengompresi *produser gas*, diperlukan pembersihan dan penghilangan tar *produser gas* sebelum dikompresi ke tangki penyimpanan. Penghilangan tar pada *produser gas* dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti metode *wet scrubbing* [15-17] maupun metode *dry scrubbing* [18]. Sejauh ini belum ada penelitian akan potensi produksi CPG dari limbah biomassa yang telah dilaporkan. Dengan demikian, penelitian ini sangat baru dan menantang dalam pemanfaatan limbah biomassa menjadi energi yang bermanfaat.

2. Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan produksi CPG dan dilanjutkan dengan pengujian mudah mampu nyala CPG langsung dari kompresor (tahap 1) dan dari tangki CPG 3 kg dan 12 kg (tahap 2) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pada tahap I, percobaan dilakukan variasi tekanan tangki kompresor 2, 3, dan 4 bar. Sedangkan pada tahap 2, *produser gas* yang telah bersih dari tar dikompresi ke dalam tangki CPG 3 kg dan tangki CPG 12 kg, sehingga tekanan tangki mencapai 6 bar. Kemudian CPG diuji mampu nyala menggunakan kompor gas. Selama pengujian, dilakukan pengambilan data berupa foto nyala api, suhu nyala api, dan durasi nyala.



Gambar 1. Setup pengujian
Sumber : Data peneliti (2022)

3. Hasil dan Pembahasan

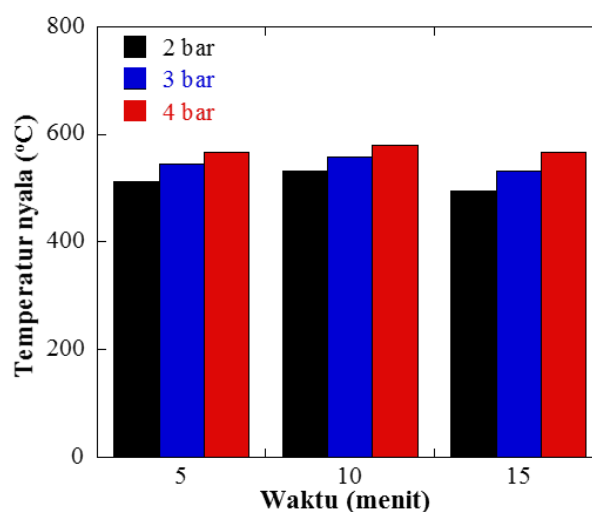
Gambar 2 menampilkan foto nyala CPG dari kompor gas yang diambil dengan menggunakan kamera digital. Berdasarkan visualisasi nyala tersebut, dapat dinyatakan bahwa nyala CPG yang stabil dapat diperoleh dengan menggunakan kompor gas komersial yang diindikasikan oleh nyala api biru CPG selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa *produser gas* dari gasifikasi sekam padi berpotensi sebagai bahan bakar kompor gas.



Gambar 2. Foto nyala api CPG
Sumber : Data peneliti (2022)

Temperatur nyala api selama pengujian dan temperatur rata-ratanya untuk variasi tekanan kompresor 2, 3, dan 4 bar masing-masing ditampilkan dalam **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Tren profil temperatur terhadap waktu penyalaan hampir serupa tekanan kompresor 2, 3, dan 4 bar seperti tampak dalam **Gambar 3**. Temperatur nyala CPG meningkat seiring bertambahnya waktu nyala, dan mencapai maksimum pada menit ke-10. Nyala api yang lebih stabil diperoleh pada waktu nyala yang lebih lama dan menyebabkan temperatur nyala api lebih tinggi pada menit ke-10 dibandingkan dengan temperatur nyala api pada menit ke-5. Namun, temperatur nyala api menurun setelah menit ke-10. Hal ini disebabkan terjadinya penurunan laju aliran massa CPG ke *burner*. Penurunan laju aliran massa CPG mengindikasikan bahwa CPG di tangki kompresor mulai berkurang.

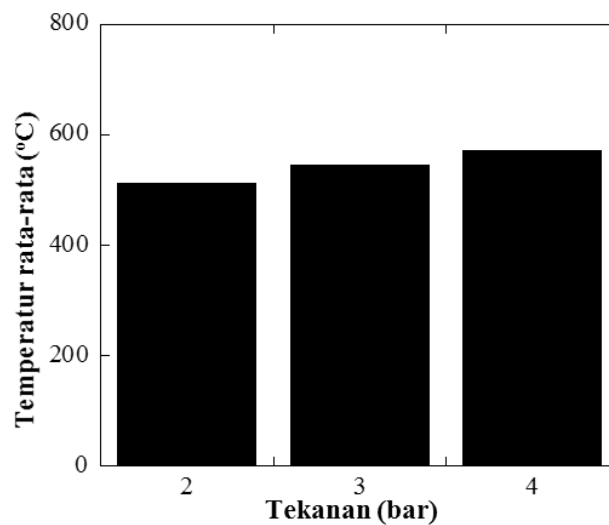
Pada waktu tertentu, temperatur nyala api CPG meningkat dengan penambahan tekanan tangki kompresor. Temperatur rata-rata nyala api untuk tekanan kompresi 2, 3, dan 4 bar adalah 512 °C, 546 °C, 567 °C. Massa *produser gas* yang tersimpan di dalam tangki adalah lebih besar untuk tekanan kompresi yang lebih tinggi. Dengan bukaan katup gas yang sama, laju aliran massa CPG ke *burner* akan lebih besar untuk tekanan kompresi yang lebih tinggi. Laju aliran massa CPG yang lebih besar ke *burner* menyebabkan lebih banyak bahan bakar yang terbakar sehingga kalor yang dihasilkan lebih besar. Dengan demikian, temperatur nyala api meningkat dengan kenaikan tekanan kompresi. Tren kenaikan temperatur nyala api yang serupa juga ditemukan pada menit ke-10 dan ke-15.



Gambar 3. Temperatur nyala api CPG terhadap waktu
Sumber : Data peneliti (2022)

Sementara itu, **Gambar 4** menunjukkan temperatur rata-rata nyala CPG pada tekanan tangki 2, 3, dan 4 bar. Temperatur rata-rata nyala api CPG meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan tangki. Temperatur rata-rata nyala api CPG adalah 513 °C, 546 °C, dan 571,67 °C untuk tekanan tangki 2, 3, dan 4

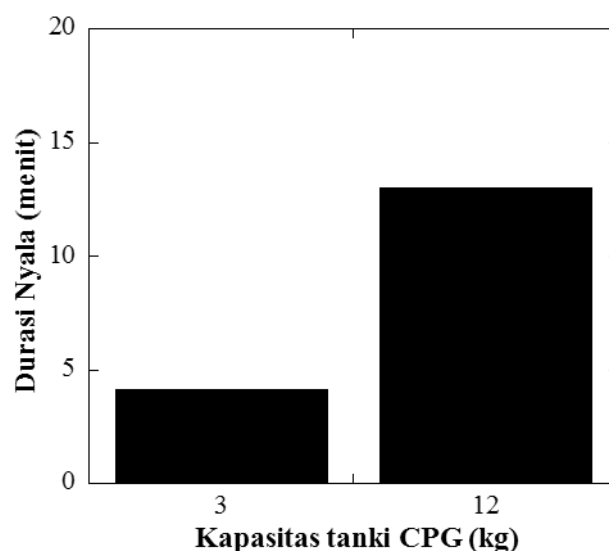
bar. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran massa meningkat dengan meningkatnya tekanan. Peningkatan laju aliran massa CPG menyebabkan rasio bahan bakar dalam campuran bahan bakar-udara meningkat dan terjadi pembakaran kaya bahan bakar (*fuel rich combustion*) dimana menyebabkan terjadinya pelepasan kalor yang lebih besar sehingga temperatur nyala api naik.



Gambar 4. Temperatur rata rata nyala api CPG
Sumber : Data peneliti (2022)

Potensi penyimpanan *producer gas* dalam tangki dianalisa dengan mengisikan produser gas ke dalam tangki CPG 3 kg dan 12 kg dengan tekanan injeksi 6 bar. Hasil pengujian durasi nyala api CPG 3 kg dan 12 kg ditampilkan dalam **Gambar 5**. Dari pengujian didapatkan bahwa durasi nyala tangki CPG 3 kg dan 12 kg masing-masing adalah 4,17 menit dan 13,03 menit. Dibandingkan dengan LPG, durasi nyala CPG untuk kapasitas tangki yang sama adalah jauh lebih rendah.

Hal ini disebabkan karena kandungan energi per satuan volume tangki CPG jauh lebih rendah dibandingkan dengan kandungan energi per satuan volume tangki LPG. Namun demikian, dapat dikatakan bahwa *produser gas* dapat disimpan di dalam tangki sebagai bahan bakar CPG karena telah berhasil digunakan sebagai bahan bakar kompor gas pada saat pengujian. Untuk mengatasi masalah kandungan energi CPG yang rendah, diperlukan optimalisasi proses purifikasi di *scrubber* serta optimalisasi tekanan injeksi ke tangki.



Gambar 5. Durasi nyala CPG 3 kg dan 12 kg
Sumber : Data peneliti (2022)

4. Kesimpulan

Compressed Producer Gas (CPG) 3 kg dan 12 kg telah berhasil diproduksi dari hasil gasifikasi limbah sekam padi dengan tungku gasifikasi model aliran ke bawah. CPG. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *produser gas* hasil gasifikasi sekam padi dapat dimanfaatkan dalam bentuk CPG. Diperlukan penelitian lanjutan untuk optimalisasi proses purifikasi dan optimalisasi tekanan injeksi untuk meningkatkan kandungan energi per satuan volume tangki CPG.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada LPDP Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas dukungan dana melalui skema Riset Keilmuan-Penelitian Mandiri Dosen 2021-2022 dengan Nomor Referensi 133/E4.1/AK.04.RA/2021. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Tim MBKM mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Teknik Kimia, dan Teknik Lingkungan yang telah membantu riset ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] A.A.P. Susastriawan, H. Saptoadi, Purnomo, "Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 76, 2017
- [2] C. Dejtrakulwong dan S. Patumsawad, "our Zones Modeling of the Downdraft Biomass Gasification Process: Effects of moisture content and air to fuel ratio," *Energy Procedia*, Vol. 52, pp. 142 – 149, 2014
- [3] F. Guo, Y. Dong, L. Dong, C. Guo, "Effect of design and operating parameters on the gasification process of biomass in a downdraft fixed bed: An experimental study," *Int. Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 39, pp. 5625-5633, 2014
- [4] J.J. Hernández, G. Aranda-Almansa, A. Bula, "Gasification of Biomass Wastes in an Entrained Flow Gasifier: Effect of the Particle Size and the Residence Time," *Fuel Processing Technology*, Vol. 91, No. 6, pp. 681–92, 2010.
- [5] A. Erkiaga, G. Lopez, M. Amutio, J. Bilbao, M. Olazar, "Influence of operating conditions on the steam gasification of biomass in a conical spouted bed reactor," *Chemical Engineering Journal*, Vol. 237, pp. 259–267, 2014.
- [6] K.B. Sutar, S. Kohli, M.R. Ravi, "Design, development and testing of small downdraft gasifiers for domestic cookstoves," *Energy*, Vol. 124, pp. 447-460, 2017.
- [7] O.F. Obi, S.L. Ezeoha, I.C. Okorie, "Energetic performance of a top-lit updraft (TLUD) cookstove," *Renewable Energy*, Vol. 99, pp. 730-737, 2016.
- [8] J. Tryner, B.D. Willson, A.J. Marchese, "The Effects of Fuel Type and Stove Design on Emissions and Efficiency of Natural-Draft Semi-Gasifier Biomass Cookstoves," *Energy for Sustainable Development*, Vol. 23, pp. 99–109, 2014.
- [9] P. Raman dan N.K. Ram, "Performance Analysis of an Internal Combustion Engine Operated on Produser Gas in Comparison with the Performance of the Natural Gas and Diesel Engines," *Energy* Vol. 63, pp. 317-333, 2013.
- [10] A.E. Dhole, R.B. Yarasu, D. B. Lata, A. Priyam, "Effect on performance and emissions of a dual fuel diesel engine using hydrogen and produser gas as secondary fuels," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 39, pp. 8087-8097, 2014.
- [11] P.C. Roy, A. Datta, N. Chakraborty, "An Assessment of Different Biomass Feedstocks in a Downdraft Gasifier for Engine Application," *Fuel*, Vol. 106, pp. 864–868, 2013.
- [12] A.L. Galindo, E.S. Lora, R.V. Andrade, S.Y. Giraldo, R.L. Jaen, V.M. Cobas, "Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: Effect of operating conditions on gas quality," *Biomass and Bioenergy*, Vol. 61, pp.236–244, 2014
- [13] S.J. Yoon, Y.I. Son, Y.K. Kim, J.G. Lee, "Gasification and power generation characteristics of rice husk and rice husk pellet using a downdraft fixed-bed gasifier," *Renew. Energy*, Vol. 42, pp. 163–167, 2012.
- [14] R.B. Nallamothu, A. Teferra, B.V.A. Rao, "Biogas purification, compression and bottling," *Global Journal of Engineering, Design, & Technology*, Vol. 2, No. 6, pp. 34-38, 2013
- [15] T. Phuphuakrat, T. Namioka, K. Yoshikawa, "Absorptive Removal of Biomass Tar Using Water and Oily Materials," *Bioresource Technology*, vol. 102, pp. 543–549, 2011.
- [16] N. A. Ahmad dan Z. A. Zainal, "Performance and Chemical Composition of Waste Palm Cooking Oil as Scrubbing Medium for Tar Removal from Biomass Producer Gas," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 32, pp. 256–261, 2016.

-
- [17] A.A.P. Susastriawan, Y. Purwanto, Purnomo, K. Vindo, A. Hariyanto, “An effect of spray configuration and adsorbent material on performance of the spray scrubber in the downdraft *gasifier*-engine system,” *Journal Teknologi (Sciences & Engineering)*, Vol. 83, No. 6, pp. 167–174, 2021.
- [18] Sudarsono, A. A. P. Susastriawan, Y. Purwanto, La Astamu, “An Effect of Zeolite Size on Performance of Dry Scrubber in Tar Removal of Biomass Derived Syngas,” *International Journal of Heat and Technology*, Vol. 40, No. 2, pp. 599-603, April, 2022.