

RANCANG BANGUN TUNGKU GASIFIER UNTUK PEMANFAATAN TANDAN KELAPA SAWIT SEBAGAI SUMBER ENERGI

Adjar Pratoto, Agus Sutanto, Eldisa H. Praja, & Dicky Armenda

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Padang

Kampus Limau Manis, Padang 25163

Fax: 0751-72566, Email: adjar.pratoto@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Sumatera Barat memiliki potensi yang besar sumber energi biomassa yang berasal dari limbah pertanian dan/atau perkebunan. Di antara sumber energi biomassa, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki potensi yang sangat baik untuk dikembangkan. Potensi yang dimiliki oleh TKKS setara dengan 65 juta liter minyak tanah per tahun atau 180 ribu liter per hari. Keunggulan TKKS dibandingkan dengan biomassa lainnya adalah dalam hal kemudahan pengumpulan dan homogenitasnya. Untuk dapat memanfaatkan secara efisien TKKS sebagai sumber energi diperlukan suatu teknologi konversi menjadi bentuk energi final. Gasifikasi merupakan salah satu teknologi konversi termal yang menghasilkan proses yang bersih. Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun tungku gasifier dengan bahan bakar tandan kosong sawit untuk keperluan rumah tangga atau industri mikro, kecil, dan menengah (UMKM).

Dalam perancangan, dipilih tungku gasifier jenis updraft. Sedangkan parameter yang digunakan dalam perancangan antara adalah nilai kalor bahan bakar biomassa, energi yang dibutuhkan untuk suatu keperluan tertentu, dan lama operasi tungku. Dari hasil rancangan, langkah berikutnya adalah fabrikasi dan pengujian kinerja tungku gasifier. Untuk parameter uji, dilakukan 3 (tiga) variasi ukuran partikel biomassa. Dari pengujian selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap waktu penyalaan, lama operasi, laju konsumsi bahan bakar (FCR, fuel consumption rate) dan laju zona pembakaran (CZR, combustion zone rate). Pengamatan juga dilakukan terhadap nyala api burner dan distribusi suhu di dalam kolom reaktor. Hasil pengujian di laboratorium memperlihatkan warna nyala api jingga tanpa asap. Warna jingga kemungkinan disebabkan oleh adanya partikel karbon yang terbakar di burner. Sedangkan, dari pengamatan distribusi suhu, terlihat bahwa sebaran suhu radial relatif seragam. Waktu penyalaan untuk partikel dengan ukuran kecil lebih pendek dibandingkan dengan partikel dengan ukuran yang lebih besar. Hal ini terkait dengan peningkatan luas permukaan kontak pemanasan untuk partikel yang kecil. Ukuran partikel yang kecil juga meningkatkan lama operasi walaupun tidak terlalu signifikan. Sedangkan, FCR dan CZR berkurang karena penurunan porositas yang pada gilirannya meningkatkan tahanan aliran dari agen gasifikasi.

Keywords: tungku, biomassa, gasifier, tandan kosong kelapa sawit

1. Pendahuluan

Sumatera Barat termasuk salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki lahan perkebunan sawit yang besar. Saat ini, luas areal tanaman kelapa sawit di Sumatera Barat mencapai 291.734 ha dengan produksi sebesar 771.406 ton/tahun [1]. Dalam pengolahan minyak sawit, dihasilkan pula limbah dalam jumlah yang besar. Potensi dari limbah pengolahan kelapa sawit sebagai sumber energi tersebut telah diuraikan pada berbagai publikasi [2].

Dalam pengolahan minyak sawit, setiap ton tandan buah segar akan menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak sekitar 0,23 ton dan cangkang serta sabut sekitar 0,19 ton.

Cangkang dan sabut biasanya digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap untuk pembangkit tenaga listrik (*captive power*) dan uap untuk proses sterilisasi tandan buah segar. Sedangkan, TKKS belum banyak dimanfaatkan; hanya sebagian kecil yang dikembalikan ke kebun sebagai pupuk organik. Bila seandainya 75% dari TKKS dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, maka di Sumatera Barat akan tersedia sumber energi biomassa sekitar 130.000 ton TKKS per tahun. Dengan nilai kalor TKKS sebesar 18.795 kJ/kg, potensi ini setara dengan minyak tanah sebanyak kurang lebih 65 juta liter per tahun atau 180.000 liter per hari.



Dalam penelitian ini dirancang suatu perangkat konversi energi termal untuk memanfaatkan limbah pengolahan minyak kelapa sawit, dalam hal ini adalah tandan kosong kelapa sawit. Perangkat yang dirancang diarahkan pada penggunaan proses termal skala rumah tangga atau usaha kecil dengan mengingat bahwa lokasi pengolahan minyak sawit terletak di daerah terpencil atau pedesaan. Perangkat yang dipandang sesuai dengan kondisi tersebut adalah tungku biomassa.

2. Metodologi Perancangan

Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian tungku biomassa. Tahap pertama dalam perancangan adalah pemilihan jenis tungku, kemudian dilanjutkan dengan penentuan dimensi tungku sebagaimana diuraikan dalam bagian berikut ini.

Jenis tungku

Pemanfaatan suatu sumber energi biomassa memerlukan suatu proses konversi dari energi primer (yaitu biomassa) menjadi energi final. Untuk proses termal, rute yang umumnya ditempuh adalah melalui pembakaran langsung atau melalui gasifikasi. Untuk gasifikasi, terdapat tiga jenis moda operasional, yaitu aliran-gas ke atas (*updraft*), aliran-gas ke bawah (*downdraft*) dan aliran-gas silang (*cross flow*). Ditinjau dari aspek mode pengumpanan, proses konversi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu moda batch dan moda kontinu. Karakteristik dari berbagai moda ini telah dilaporkan dalam berbagai literatur [3].

Pada tungku pembakaran langsung, kelebihan yang dimiliki adalah sederhana dalam desain dan kemudahan penyalaan. Adapun kekurangannya adalah terletak pada polusi dan asap yang ditimbulkannya. Pada tungku gasifikasi, umpan tidak dibakar secara langsung, tetapi diuraikan terlebih dahulu secara termal dengan oksigen yang terbatas sedemikian rupa sehingga volatil yang terkandung dalam bahan terlepas dan membentuk syngas (H_2 dan CO) serta beberapa unsur gas lainnya, seperti karbon dioksida dan metana. Syngas yang terbentuk kemudian dibakar di dalam burner tungku. Pada pembakaran ini, hasil pembakaran lebih bersih dan tidak menimbulkan asap. Kekurangan dari tungku gasifikasi ini umumnya terletak pada penyalaannya.

Pada penelitian ini, dipilih tungku gasifier tipe *updraft* dengan pertimbangan atas kemudahan dalam penyalaannya dibandingkan dengan tipe *downdraft* ataupun tipe *cross flow*.

Spesifikasi rancangan

Untuk penggunaan skala rumah tangga atau usaha kecil, tungku dirancang dengan spesifikasi teknis berikut:

- Bahan bakar adalah tandan kosong kelapa sawit (nilai kalor, HV_f ditetapkan sebesar 3000 kkal/kg)
- Waktu operasi: 45 menit

- Laju gasifikasi spesifik (*specific gasification rate*), $SGR = 80 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}$
- Panas proses, $Q = 300 \text{ kkal}$ (tipikal untuk memasak nasi sebanyak 3,5 kg)
- Efisiensi tungku, $\eta = 10\%$
- Densitas curah bahan bakar, $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$.

Sizing

Dimensi utama dari tungku gasifier tipe *updraft* adalah tabung reaktor gasifikasi. Spesifikasi teknis yang disampaikan pada bagian sebelumnya digunakan untuk menentukan dimensi dan tinggi reaktor gasifikasi tipe *updraft*. Penampang reaktor dapat dibuat dengan berbagai geometri. Namun, penampang silindrik umumnya akan menghasilkan gasifikasi yang merata. Semakin besar diameter akan memberikan keluaran daya yang semakin besar pula. Diameter reaktor tungku ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [4]:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 FCR}{SGR}} \quad (1)$$

dengan FCR adalah laju pemakaian bahan bakar [kg/jam] dan SGR adalah laju gasifikasi spesifik [kg/m²·jam].

Pada Pers.(1), laju pemakaian bahan bakar dihitung dengan persamaan berikut [4]:

$$FCR = \frac{Q}{HV_f \eta} \quad (2)$$

Panas proses Q dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = \frac{m \times E_s}{t} \quad (3)$$

Pada Pers.(3), m adalah massa dari bahan yang diolah, E_s adalah panas spesifik dan t adalah lama proses

Tinggi reaktor tungku, h , ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [4]:

$$h = \frac{t \times SGR}{\rho} \quad (4)$$

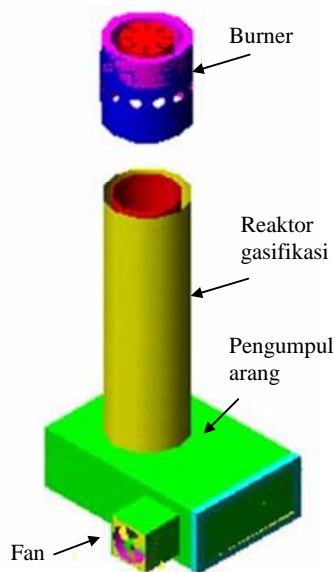
dengan ρ adalah densitas curah bahan bakar biomassa. Untuk biomassa berserabut, densitas dapat dinaikkan hingga pada tingkat tertentu dengan memberikan tekanan pada saat pembebanan. Penekanan lebih lanjut tidak dapat dilakukan karena pada saat tekanan dilepaskan, biomassa berserabut akan mengembang kembali (relaksasi).



Dari data spesifikasi teknis tersebut, maka diperoleh dimensi reaktor tungku sebagai berikut:

- Diameter = 150 mm
- Tinggi = 600 mm

Pada Gb.1 diperlihatkan skema rancangan tungku gasifier biomassa tipe updraft. Pada kolom reaktor, diletakkan biomassa sebagai bahan bakar. Kolom reaktor tersebut ditempatkan pada suatu kedudukan yang berfungsi pula sebagai penampung abu dan arang hasil gasifikasi. Pada dinding kedudukan tersebut, dipasang sebuah fan untuk mengalirkan udara. Pada bagian atas kolom reaksi, terdapat burner.



Gb.1 Rancangan tungku gasifier tipe updraft

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah tungku gasifier biomassa dibuat, kemudian dilakukan pengujian di laboratorium. Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan nyala api, distribusi suhu di dalam reaktor, dan pengaruh ukuran partikel (cacahan) terhadap lama waktu penyalaan dan lama waktu operasi, laju pemakaian bahan bakar dan laju zona pembakaran. Pengaruh jumlah bahan bakar terhadap parameter-parameter tersebut juga diamati.

Nyala api

Pada Gb.2 diperlihatkan nyala api di burner tungku gasifier biomassa. Nyala api berwarna jingga tanpa asap. Pada pengujian awal, pada burner banyak mengeluarkan asap. Hal ini disebabkan oleh kandungan cairan pada tandan kosong sawit yang relatif masih tinggi. Pada saat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) keluar dari proses pengolahan minyak sawit, kadar airnya dapat mencapai 60 hingga 70%. Dengan mengeringkan TKKS lagi (selama tiga hingga empat hari pada kondisi sudah dicacah dan matahari cerah), maka asap tidak teramati

lagi pada burner tungku. Adapun, warna jingga pada nyala api kemungkinan disebabkan oleh adanya partikel karbon yang ikut terbakar pada saat pembakaran syngas. Saat diujicobakan dengan pembakaran dengan beban (memanaskan air), maka pada alas panci akan terdapat jelaga (*soot*). Adanya jelaga ini menandakan adanya partikel karbon yang terlepas dari zona gasifikasi. Dari pengamatan, juga terlihat nyala api yang lebih kuat dibandingkan dengan nyala api bila digunakan sekam sebagai bahan bakar. Nyala api yang kuat cocok digunakan untuk keperluan penggunaan panas yang intensif, seperti saat memanaskan air atau menggoreng makanan.



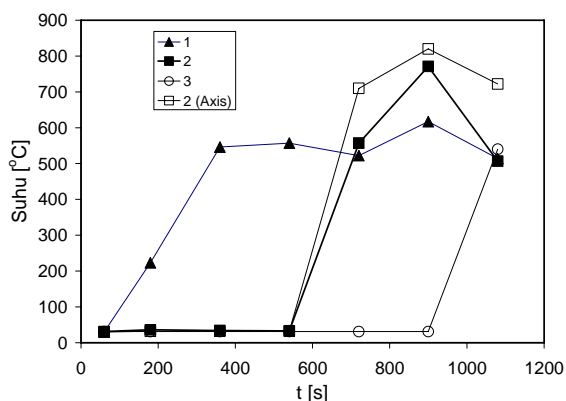
Gb.2 Nyala tungku gasifier

Distribusi suhu pada kolom reaktor

Pada Gb.3 diperlihatkan distribusi suhu pada berbagai titik di dalam kolom reaktor terhadap waktu. Pengukuran suhu dilakukan pada tiga titik di dekat dinding-dalam silinder dengan posisi masing-masing atas (titik 1), tengah (titik 2), dan bawah (titik 3), serta satu titik pengukuran di tengah-tengah silinder baik secara diametral maupun longitudinal, yaitu titik 2 (axis) pada Gb.3. Suhu

Pada gambar tersebut, titik 1 menunjukkan inisiasi penyalaan tungku. Suhu pada titik tersebut naik secara teratur selama kurang lebih 350 detik dan setelah itu suhunya relatif konstan. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk penyalaan adalah 350 detik untuk mendapatkan proses gasifikasi yang stabil. Dengan gasifikasi yang telah stabil, zona pembakaran juga merambat ke bawah dan mencapai tengah-tengah tungku secara vertikal setelah lebih dari 500 detik. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa zona pembakaran mencapai bagian bawah tungku setelah sekitar 900 detik.



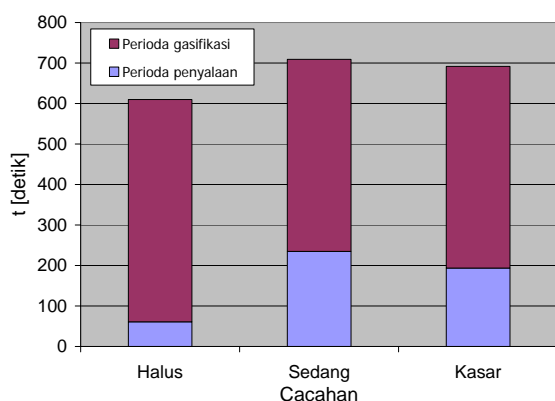


Gb.3 Perubahan suhu terhadap waktu selama gasifikasi

Dari Gb.3 juga terlihat bahwa distribusi suhu secara transversal relatif seragam (ditunjukkan oleh titik 2 dan titik 2 Axis). Hal ini memperlihatkan bahwa dengan rancangan tungku dengan rasio L/D yang telah dibuat memberikan distribusi suhu yang relatif seragam secara transversal

Waktu penyalaaan (start-up) dan waktu operasi

Gb.4 memperlihatkan lama waktu penyalaaan dan waktu operasi dari berbagai ukuran cacahan bahan bakar. Waktu penyalaaan adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai tingkat gasifikasi yang stabil. Sedangkan, waktu operasi adalah waktu yang diperlukan oleh bahan bakar dari saat penyalaaan stabil hingga berhentinya gasifikasi (semua bahan bakar telah tergasifikasi).



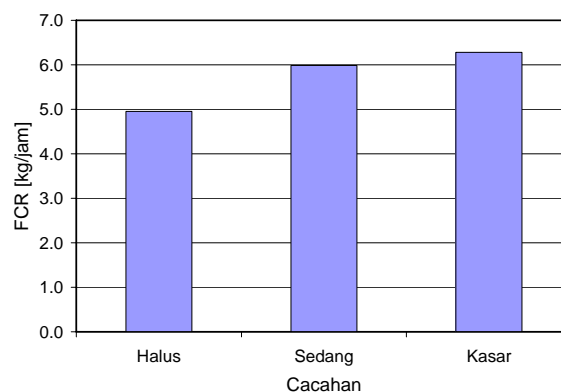
Gb.4 Pengaruh ukuran partikel terhadap waktu penyalaaan dan waktu operasi

Untuk ukuran partikel yang kecil, waktu penyalaaannya lebih singkat dibandingkan dengan waktu penyalaaan untuk bahan bakar dengan ukuran partikel yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh tingginya densitas permukaan dari partikel kecil yang pada gilirannya meningkatkan luas kontak antara partikel biomassa dengan agen gasifikasi. Untuk ukuran sedang

dan kasar, tidak terdapat perbedaan yang nyata baik terhadap waktu penyalaaan maupun waktu operasi.

Laju Pemakaian Bahan Bakar

Laju pemakaian bahan bakar atau fuel consumption rate (FCR) adalah jumlah massa bahan bakar per satuan waktu. Pada Gb. 5 diperlihatkan variasi FCR terhadap ukuran partikel biomassa. Partikel yang kecil memiliki FCR lebih kecil dibandingkan dengan FCR dari biomassa dengan ukuran partikel yang lebih besar. Partikel yang kecil memiliki densitas permukaan yang besar dan hal ini akan meningkatkan laju gasifikasi. Namun demikian, dengan ukuran partikel yang kecil, porositas curah juga menjadi kecil dan kondisi ini akan meningkatkan tahanan aliran [6] dari agen gasifikasi sehingga menghambat efektifitas gasifikasi. Untuk partikel ukuran sedang dan kasar, tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap FCR.



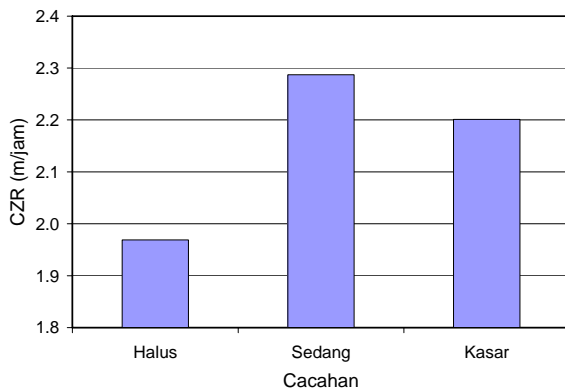
Gb.5 Laju pemakaian bahan bakar (FCR)

Laju Zona Pembakaran

Pada proses gasifikasi dalam sistem batch (unggun), terdapat beberapa zona dalam tumpukan curah bahan bakar tersebut. Zona pembakaran adalah daerah dimana terdapat cukup oksigen untuk menjamin terjadinya pembakaran. Proses pembakaran ini menghasilkan panas (reaksi eksotermik) yang akan dimanfaatkan di dalam zona gasifikasi. Proses gasifikasi itu sendiri adalah endotermik (membutuhkan panas) untuk menguraikan gas-gas volatil. Di luar kedua zona tersebut, terdapat zona pengeringan. Panas yang tersisa dan menjaral keluar dari kedua zona tersebut akan meningkatkan suhu biomassa dan air yang terkandung di dalamnya. Oleh adanya panas ini, air yang terkandung dalam biomassa akan menguap sehingga zona tersebut disebut sebagai zona pengeringan.

Laju zona pembakaran atau combustion zone rate (CZR) adalah waktu yang diperlukan oleh zona pembakaran untuk menjaral ke bawah reaktor dalam tungku gasifier tipe updraft atau panjang reaktor dibagi dengan waktu operasi.





Gb.6 Pengaruh ukuran partikel terhadap CZR

Pada Gb.6 diperlihatkan pengaruh ukuran partikel terhadap CZR. Partikel yang kecil memiliki CZR . Hal ini juga disebabkan oleh porositas yang rendah pada material curah dengan ukuran partikel yang kecil dan porositas yang kecil ini akan meningkatkan tahanan aliran agen gasifikasi

4. Kesimpulan

Suatu tungku gasifier biomassa tipe updraft skala rumah tangga dan usaha kecil telah dirancang, dibuat, dan diuji dengan bahan bakar yang berasal dari limbah pengolahan minyak sawit, yaitu tandan kosong kelapa sawit.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa rancangan dimensi tungku memberikan gasifikasi yang seragam secara radial sebagaimana ditunjukkan oleh distribusi suhu yang seragam secara radial.

Pengujian dengan variasi ukuran partikel memperlihatkan pengaruh yang nyata terhadap lama penyalaan, laju konsumsi bahan bakar, dan laju zona pembakaran.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai dengan hibah penelitian Indonesia-Managing Higher Education for Relevance and Efficiency (I-MHERE) B.1 Batch IV kontrak No.10/RG/I-MHERE/Unand/2010.

Referensi

- [1] Bappeda Sumbar, Kerangka Acuan Penelitian dan Pengembangan Kajian Potensi Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit, Lit/PT-09/02, 2009.
- [2] Pratoto, A., 2006, Combustion behavior of briquettes from oil palm's empty fruit bunch, 2nd International Conference on Thermal Engineering: Theory and Application, Al-Ain, United Arab Emirates, January 3-6, 2006

- [3] Klass, D.L., *Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals*, Academic Press, San Diego, Ca., 1998
- [4] Baldwin, S.F., *Biomass stoves – Engineering design, development, and dissemination*, VITA, Princeton, N.J., 1987
- [5] Belonio, A.T., *Rice husk gas stove handbook*, Appropriate Technology Center, Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines, 2005
- [6] Dullien, F.A.L., *Porous media – Fluid transport and pore structure*, 2nd Edition, Academic Press, San Diego, Ca., 1992



