

PENGERINGAN KARET REMAH BERBASIS SUMBER ENERGI BIOMASSA

Drying of Crumb Rubber Based on Biomass Energy Resources

Afrizal Vachlepi dan Didin Suwardin

Balai Penelitian Sembawa, Pusat Penelitian Karet

Jl. Raya Palembang – Pangkalan Balai Km.29 Kotak Pos 1127 Palembang 30001, Indonesia

Email: A_Vachlepi@yahoo.com

Diterima tgl 11 Februari 2014/Direvisi tgl 28 Juni 2014/Disetujui tgl 11 Agustus 2014

Abstrak

Produksi karet alam Indonesia terbesar berupa karet remah yang mencapai 93,4%. Pengeringan merupakan kritikal proses yang menentukan mutu akhir produk dan salah satu tahapan yang memerlukan energi cukup besar. Energi yang digunakan dalam industri umumnya bersumber dari energi fosil. Sayangnya ketersediaan sumber energi dari fosil semakin lama cenderung menurun. Oleh karena itu perlu sumber energi alternatif yaitu biomassa dari limbah industri pengolahan produk pertanian. Salah satu contohnya adalah industri pengolahan kelapa sawit. Biomassa dari industri ini berupa tandan kosong sawit (TKS) sebesar 4,8 juta ton, cangkang 1,5 juta ton dan sekitar 1,8 juta ton berupa serabut. Dalam pengeringan karet remah, biomassa dikonversi menjadi sumber energi panas dengan teknik gasifikasi dalam sistem unit pengering. Panas dari hasil pembakaran dipindahkan ke media pengering berupa udara panas. Keuntungan menggunakan biomassa sebagai sumber energi adalah dapat mengurangi biaya produksi, lebih ramah lingkungan, dan tersedia dalam jumlah yang banyak sehingga lebih terjamin dalam keberlangsungannya. Biaya penggunaan biomassa sebagai bahan bakar pengeringan karet remah sekitar Rp78 per kg karet kering.

Kata kunci: biomassa, energi, karet remah dan pengeringan

Abstract

Indonesia's largest production of natural rubber is in the form of crumb rubber reaching 93.4%. Drying is a critical process that determines the final product quality of the crumb rubber, and it is one of the stages that requires lot of energy. The energy used in the crumb rubber industries is generally from fossil fuels. Unfortunately the availability of fossil energy sources has decreased. Therefore, the alternative energy sources such as biomass from waste of agricultural product processing industry are needed. One example is palm oil processing industry. Biomass from this industry are in the form of empty fruit brunches around 4.8 million tons, shell approximately 1.5 million tons and 1.8 million tons of fibers. In the crumb rubber drying, biomass is converted into heat energy by gasification techniques in the drying unit system. Heat of combustion products are transferred to an air as medium dryers. The advantage of using biomass as an energy resources are reducing the production cost, more environmentally friendly, and more available. The cost of biomass fuel in the drying process of crumb rubber is around Rp 78 per kg of dry rubber.

Keywords : biomass, energy, crumb rubber and drying

Pendahuluan

Produksi karet alam Indonesia tahun 2012 sebesar 2,44 juta ton dengan produk terbesar berupa karet remah (*crumb rubber*) mutu SIR 20 mencapai 93,4% (Gapkindo, 2013). Jumlah produksi ini dihasilkan oleh sekitar 126 pabrik

karet remah yang tersebar di beberapa provinsi penghasil karet di Indonesia seperti Sumatera Selatan, Sumatera Utara, Jambi, Bengkulu, Kalimantan Barat dan Kalimantan Selatan (Gapkindo, 2011). Dalam pengolahan karet remah, pengeringan merupakan tahapan proses yang kritis dan sangat menentukan mutu akhir karet remah. Pengeringan merupakan salah satu proses yang memerlukan konsumsi energi cukup besar.

Energi yang digunakan dalam industri umumnya bersumber dari energi fosil. Sayangnya, ketersediaan cadangan energi fosil semakin menipis (Elinur *et al*, 2010). Oleh karena itu perlu dimaksimalkan penggunaan energi alternatif bersifat terbarukan (*renewable energy*) seperti biomassa; sinar matahari/surya (Sugiyono, 2010); dan angin (Syahrul, 2008). Sumber energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan adalah biomassa yang juga dikenal dengan bioenergi atau energi hijau. Sebagai negara yang mengandalkan sektor pertanian, sumber biomassa di Indonesia sangat berlimpah terutama limbah pada hasil perkebunan.

Tulisan ini membahas teknologi pengeringan karet remah menggunakan sumber energi berbasis biomassa. Teknologi ini dapat dijadikan salah satu alternatif bagi industri pengolahan karet remah dalam

menyikapi permasalahan energi yang ke depannya akan semakin bernilai. Tulisan ini diharapkan dapat menjadi informasi bagi industri karet alam di Indonesia khususnya pabrik pengolahan karet remah sehingga ketergantungan akan bahan bakar fosil dapat diminimalisasi dengan memanfaatkan potensi bahan bakar biomassa yang berlimpah.

Jenis Material Biomassa

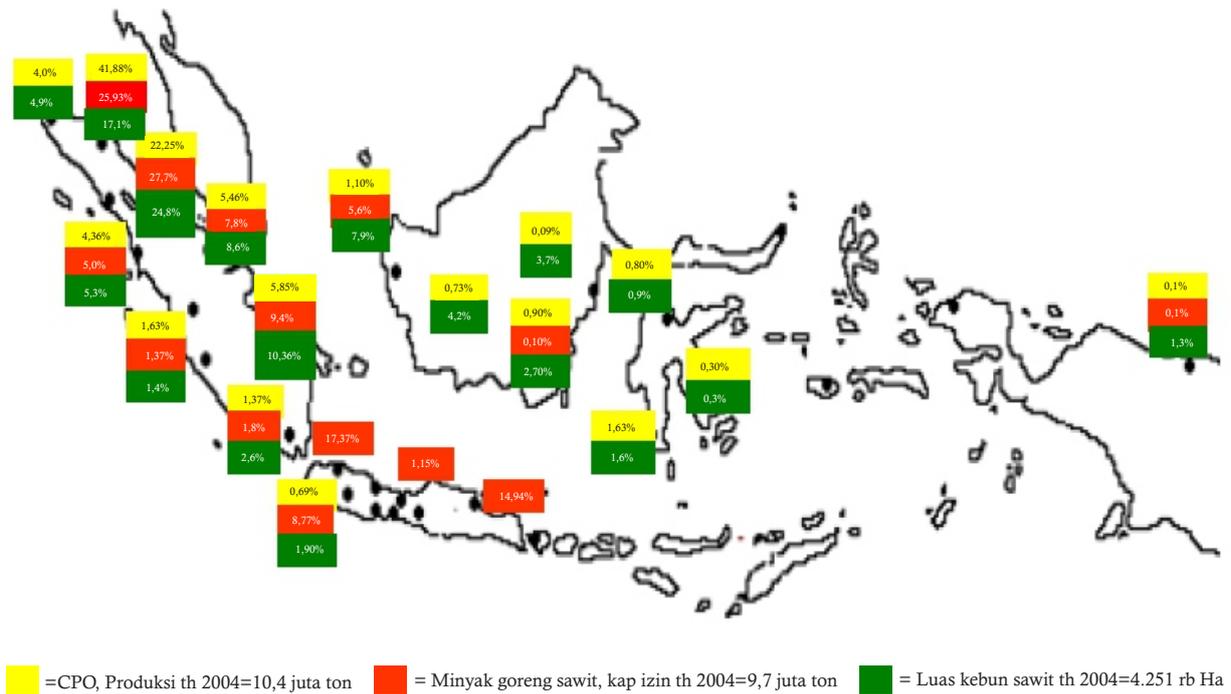
Tidak seperti sumber energi yang berasal dari fosil, energi yang berasal dari biomassa memiliki banyak jenis dan karakteristik yang berbeda-beda (Tabel 1). Jenis dan karakteristik ini sangat menentukan penanganan dan pemanfaatannya sebagai sumber energi. Bentuk biomassa yang umumnya digunakan sebagai sumber bahan bakar antara lain pallet, chip, dan serbuk. Potensi produksi dan energi dari limbah biomassa.

Contoh industri pengolahan pertanian yang potensial menghasilkan biomassa sebagai sumber energi adalah industri pengolahan kelapa sawit. Sebagai salah satu negara produsen kelapa sawit terbesar kedua di dunia (Mariati, 2009), di Indonesia potensi biomassa dari industri ini sangat berlimpah. Peta penyebaran luas lahan dan produksi kelapa sawit di Indonesia disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Potensi produksi dan energi dari limbah biomassa.

No	Jenis biomassa	Produksi pertahun (juta ton)	Energi pertahun (juta GJ)
1	Limbah peremajaan kebun karet	31,0	496,0
2	Sekam padi	14,3	179,0
3	Bagas tebu	6,5	78,0
4	Sabut sisa kelapa sawit	3,7	35,3
5	Tandan kosong kelapa sawit	3,5	15,4
6	Sabut kelapa	2,0	24,0
7	Cangkang buah sawit	1,3	17,2
8	Sisa <i>logging</i>	1,2	11,0
9	Tempurung kelapa	1,1	18,7
10	Limbah industri penggergajian kayu	1,1	10,6

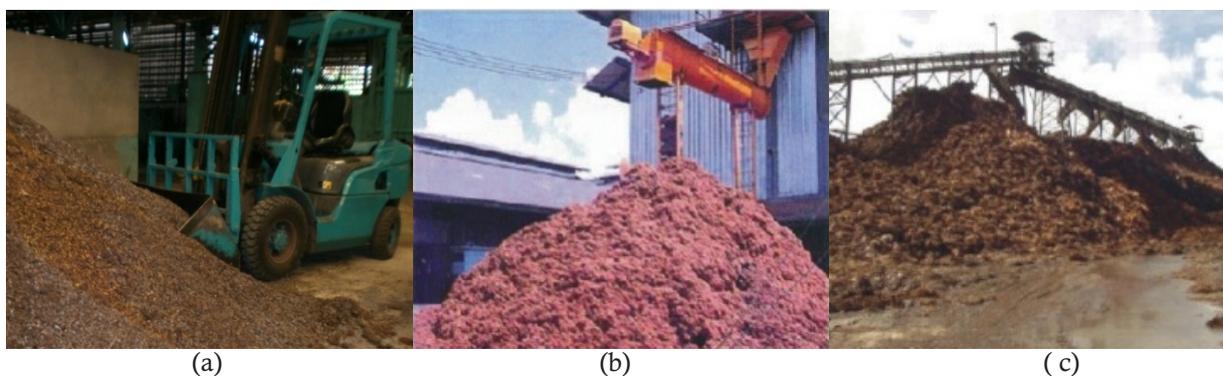
Pengeringan karet remah berbasis sumber energi biomassa



Gambar 1. Peta penyebaran luas lahan dan produksi kelapa sawit di Indonesia (Sumber: Kementerian Perindustrian, 2007).

Total produksi CPO Indonesia tahun 2011 mencapai 21,96 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2011). Singh, *et al* (1990) menyatakan bahwa setiap pengolahan tandan buah segar menjadi CPO menghasilkan produk samping (*by product*) berupa tandan kosong sawit (TKS) sekitar 22 %, cangkang sebesar 7 % dan juga serabut (*fiber*) sekitar 8 %. Dengan demikian berarti tersedia biomassa berupa TKS sebesar 4,8 juta ton, cangkang 1,5 juta ton dan sekitar 1,8 juta ton berupa serabut.

Ketiga biomassa ini memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor cangkang kelapa sawit (4.115 kkal/kg) lebih besar dibandingkan serabut yang hanya sekitar 3.500 kkal/kg (Harris et al, 2013). Biomassa dengan jumlah sebesar ini sangat potensial dapat dioptimalkan pemanfaatannya sebagai sumber energi untuk berbagai industri, termasuk industri pengolahan karet remah. Biomassa dari limbah padat pengolahan kelapa sawit ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Limbah padat pengolahan kelapa sawit (a) cangkang, (b) serabut dan (c) tandan kosong sawit.

Mesin Penger ing Karet Remah

Dalam pengolahan karet remah, salah satu tahapan yang sangat penting agar menghasilkan karet bermutu baik adalah proses pengeringan. Pengeringan adalah proses penghilangan kadar air dengan tujuan mengawetkan, memudahkan pengangkutan, dan mempersiapkan bahan untuk proses berikutnya. Proses ini juga dapat menentukan kualitas akhir karet karena tanpa pengeringan tidak dapat dihasilkan karet dengan mutu yang memenuhi persyaratan spesifikasi teknis sesuai yang diperlukan (Maspanger et al, 1999).

Pada tahap ini, air yang terkandung di dalam karet dikeluarkan melalui pemanasan yang biasanya menggunakan udara panas. Suhu pengeringan yang umumnya digunakan berkisar 110-120 °C (Vachlepi, 2007). Udara panas yang digunakan dalam pengeringan dihasilkan oleh peralatan berupa mesin pengering. Sumber energi yang umum digunakan masih bahan bakar yang berasal dari fosil. Tetapi seiring semakin mahalnya biaya penggunaan bahan bakar fosil, beberapa pabrik pengolahan karet remah sudah mengganti bahan bakarnya menggunakan biomassa berupa cangkang kelapa sawit.

Biomassa cangkang kelapa sawit dibakar di dalam mesin pembakar secara langsung (*direct combustion*). Energi panas yang dihasilkan pembakaran biomassa ini digunakan untuk memanaskan media pengering, biasanya

berupa udara (Vachlepi, 2012). Udara panas dialirkan ke dalam ruang pengering yang akan dilalui karet remah basah. Contoh mesin pembakaran (*burner*) berbahan bakar biomassa yang terdapat di salah satu pabrik pengolahan karet remah di Kalimantan Barat, ditampilkan pada Gambar 3 dan saluran/pipa udara pengering dari mesin pembakaran dapat dilihat pada Gambar 4.

Proses Konversi Biomassa menjadi Energi Panas

Dalam aplikasinya biomassa ini dapat dikonversi menjadi bioenergi (Muryanto, 2008) berupa biobriket, biofuel, dan biogas sebagai sumber energi panas. Teknik yang dapat dipilih untuk mengkonversi biomassa menjadi energi panas adalah gasifikasi. Gasifikasi merupakan teknologi konversi teknologi thermal, dimana bahan bakar padat diubah menjadi gas yang mudah terbakar dengan memberikan persediaan oksigen (Syahputra, 2013). Pada proses pembakaran biomassa dengan udara terkontrol di dalam alat gasifikasi (*gasifier*) maka akan dihasilkan produk gas, yaitu CO, H₂, CO₂, H₂O dan CH₄. Komposisi produk gasifikasi terdiri dari 85% gas, 10% arang dan 5% cairan berupa tar (Suwardin, 2011). Reaksi utama selama proses gasifikasi biomassa dapat dilihat pada Tabel 2. Keunggulan dari teknologi gasifikasi biomassa adalah mampu menghasilkan produk gas yang konsisten dan lebih bersih. Pembakaran gas



Gambar 3. Mesin pembakaran (*burner*) berbahan bakar biomassa untuk pengeringan karet remah.



Gambar 4. Saluran/pipa udara panas pada mesin pembakaran untuk pengeringan karet.

Pengeringan karet remah berbasis sumber energi biomassa

Tabel 2. Reaksi utama yang terjadi selama proses gasifikasi biomassa berlangsung.

Proses devolatilisasi primer (<i>primary devolatilization</i>)				
Biomassa	⑧	Tar primer (CH _x O _y) CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , H ₂ O Karbon		(1)
Proses pemecahan dan reformasi tar (<i>tar cracking and reforming</i>).				
Tar primer	⑧	Tar sekunder CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , H ₂		(2)
Reaksi fase gas homogen (<i>homogenous gas phase reaction</i>)				
Tar sekunder	⑧	C, CO, H ₂	□H	(3)
H ₂ + 0,5 O ₂	⑧	H ₂ O	-242	(4)
CO + 0,5 O ₂	⑧	CO ₂	-283	(5)
CH ₄ + 0,5 O ₂	⑧	CO + 2 H ₂	-110	(6)
CH ₄ + CO ₂	⑧	2 CO + 2 H ₂	+247	(7)
CH ₄ + H ₂ O	⑧	CO + 3 H ₂	+206	(8)
CO + H ₂ O	⑧	CO ₂ + H ₂	-40,9	(9)
Reaksi heterogen (<i>heterogenous reaction</i>)				
C + O ₂	⑧	CO ₂	-393,5	(10)
C + 0,5 O ₂	⑧	CO	-123,1	(11)
C + CO ₂	⑧	2 CO	+159,9	(12)
C + H ₂ O	⑧	CO + H ₂	+118,5	(13)
C + 2 H ₂	⑧	CH ₄	-87,5	(14)

Keterangan: Reaksi 4: Pembakaran/*combustion* (oksidasi/*oxidation*) H₂
 Reaksi 5: Pembakaran/*combustion* (oksidasi/*oxidation*) CO
 Reaksi 6: Pembakaran/*combustion* (oksidasi/*oxidation*) CH₄
 Reaksi 7: Reaksi reformasi kering/*dry reforming reaction*
 Reaksi 8: Metanisasi reformasi uap/*steam reforming methanisation*
 Reaksi 9: Reaksi perubahan gas-air (*water-gas shift reaction*)
 Reaksi 10: Oksidasi karbon (*oxidation of carbon*)
 Reaksi 11: Oksidasi parsial (*partial oxidation*)
 Reaksi 12: Kestimbangan Boudoard (*Boudoard equilibrium*)
 Reaksi 13: Reaksi reformasi uap (*steam reforming reaction*)
 Reaksi 14: Reaksi produksi metan (*methane production reaction*)

Sumber: IEABioenergy, 2014.

hasil proses gasifikasi yang bersih akan lebih sempurna sehingga udara buangan juga lebih bersih atau dengan kata lain rendah polutan. Gasifikasi biomassa juga dapat digunakan sebagai alternatif penghasil panas konvensional (Syahputra *et al*, 2013).

Teknik atau metode lain yang dapat digunakan untuk mengubah biomassa menjadi energi panas adalah torefaksi. Torefaksi adalah metode perlakuan termokimia yang dilakukan pada rentang temperatur 200-300 °C, tekanan atmosfer 1 atm, dan tanpa oksigen. Proses ini ditandai dengan laju pemanasan rendah (<50 °C/menit) dengan waktu tinggal relatif lama

yang umumnya berkisar 1 jam (Bergman *et al*. 2005). Penelitian Chen *et al*. (2011) menggunakan tiga temperatur berbeda yang masing-masing didefinisikan sebagai torefaksi ringan (220°C), torefaksi lunak (250°C), dan torefaksi berat (280°C). Temperatur ini jauh lebih rendah dari rentang yang biasa dipakai untuk pirolisis atau gasifikasi (900°C ke atas).

Torefaksi merupakan pilihan yang dapat meningkatkan sifat umpan biomassa dalam hal pembakaran kaitannya dengan peningkatan nilai kalor. Karakteristik biomassa hasil proses torefaksi akan berubah seperti kandungan oksigen akan berkurang, kandungan hemiselulosa berkurang, sifat

biomassa menjadi sulit menyerap air dan kandungan energi meningkat (Irawan *et al*, 2012). Berbeda dengan gasifikasi, sebanyak 70% dari massa umpan biomassa tertinggal sebagai produk padat torefaksi yang mengandung 90% kandungan energi umpan. Sisanya sebanyak 30% terkonversi menjadi gas torefaksi. Komposisi gas diasumsikan terdiri dari uap air 49,8%, SO₂ 0,2%, CO 15% dan 35% berupa CO₂ (Amrul *et al*, 2012).

Produk padatan dan gas hasil dari torefaksi dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas. Panas hasil dari pembakaran gas dan produk padat digunakan sebagai sumber energi untuk proses-proses yang memerlukan panas seperti proses pengeringan karet remah. Pemanfaatan energi ini dilakukan melalui peristiwa perpindahan panas (*heat transfer phenomena*). Proses perpindahan panas umumnya dikelompokkan menjadi dua yaitu secara langsung (*direct*) dan tidak langsung (*indirect*) (Novia *et al*, 2010). Dalam teknik ini digunakan cara tidak langsung yang memerlukan media penghantar panas, contohnya udara atau minyak (*oil*).

Sumber biomassa yang paling potensial dapat dimanfaatkan sebagai penghasil energi kaitannya dengan kompetisi dan keberlanjutan antara energi dan pangan adalah limbah (*by-product*) biomassa dari industri pengolahan produk pertanian. Prastowo (2007) mengungkapkan bahwa potensi bioenergi asal residu (limbah) biomassa tanaman dari sektor pertanian (tanpa industri kayu kehutanan dan jagung) sekitar 441,1 juta giga joule. Angka ini menunjukkan bahwa biomassa merupakan energi alternatif yang sangat potensial untuk dikembangkan dan dioptimalkan pemanfaatannya terutama untuk memenuhi kebutuhan industri pengolahan produk pertanian itu sendiri.

Unjuk Kerja Mesin Pengering

Unjuk kerja mesin pengering karet remah menggunakan bahan bakar biomassa dapat ditinjau dari dua aspek, yaitu aspek teknis aplikasinya di pabrik dan aspek ekonomis.

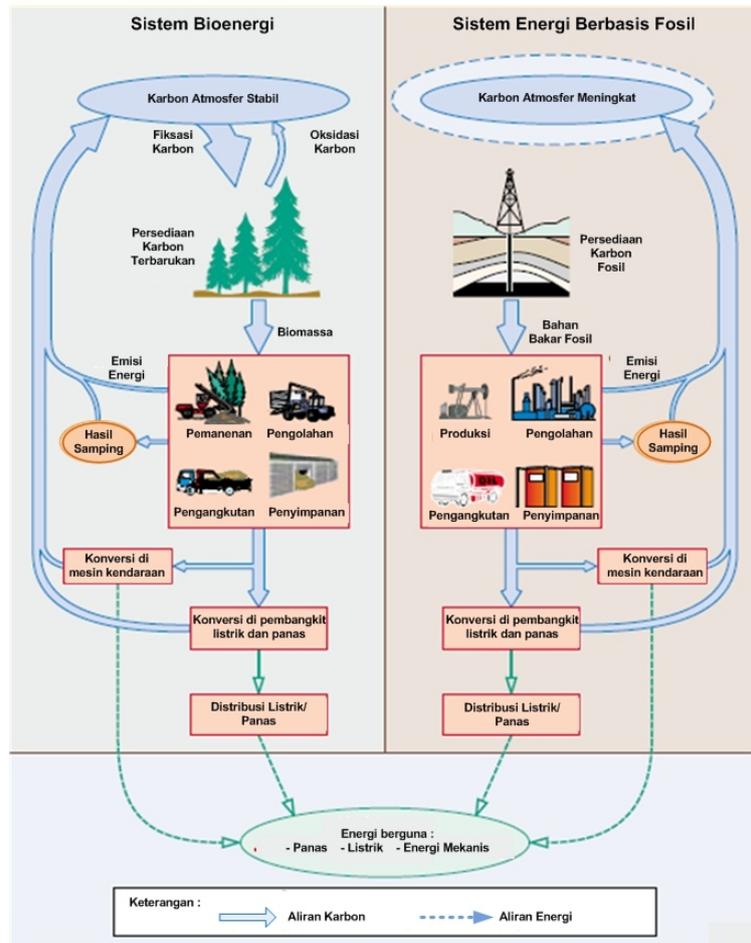
1. Aspek Teknis

Teknologi pengeringan karet berbasis sumber energi biomassa lebih ramah lingkungan dibandingkan sumber energi lainnya karena bahan bakar biomassa ini merupakan sumber terbarukan yang berasal dari tanaman (*bioenergy*). Ketersediaan biomassa ini lebih banyak dan terjamin karena di Indonesia banyak industri pengolahan produk pertanian, sebagai salah satu contoh cangkang sawit dari industri pengolahan CPO.

Manfaat lainnya penggunaan biomassa sebagai sumber energi dibandingkan sistem pengeringan berbahan bakar yang berasal dari fosil adalah mampu menurunkan emisi di udara (Mardiana dan Mahardika, 2010), seperti gas rumah kaca. CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran biomassa relatif lebih rendah dan dapat digunakan kembali oleh tanaman untuk proses fotosintesis. Sehingga kandungan CO₂ di atmosfer lebih stabil dibandingkan energi yang berasal dari fosil (Gambar 5).

Dalam aplikasinya teknologi pengeringan ini memiliki kelemahan dalam hal teknis pengaturan atau pengendalian suhu udara panas yang dihasilkan mesin pengering. Untuk meningkatkan suhu sesuai dengan kebutuhan, diperlukan bahan bakar yang lebih banyak dan memerlukan waktu yang lebih lama. Selain itu, apabila suhu sudah melebihi kebutuhan atau target, akan sangat sulit untuk menurunkan kembali. Pada kondisi sekarang, dalam pengendaliannya diperlukan tenaga kerja yang khusus menjaga suplai bahan bakar kaitannya untuk menstabilkan pembakaran dalam mengatur suhu pengeringan sesuai dengan kebutuhan. Kelemahan lainnya, karena cangkang sawit berbentuk padat, dalam penyimpanan dan penggunaan diperlukan tempat yang lebih besar dan kendaraan pengangkut seperti *forklift* (Gambar 6). Solusi permasalahan ini dapat diatasi dengan merancang sistem sirkulasi otomatis dalam pengendalian suhu udara pengering dan suplai bahan bakar cangkang sawit ke dalam ruang pembakar (*burner*). Ruang pembakaran biomassa dengan motor penggerak dan pipa input bahan bakar ditampilkan pada Gambar

Pengeringan karet remah berbasis sumber energi biomassa



Gambar 5. Perbandingan sistem energi berbasis biomassa dan fosil
 Sumber: IEA Bioenergy, 2002



Gambar 6. Pengisian bahan bakar biomassa cangkang sawit menggunakan kendaraan *forklift*.

7. Produk samping sistem pengeringan menggunakan bahan bakar biomassa berupa abu (Gambar 8).

Perpindahan panas (*heat transfer*) pada teknologi ini umumnya menggunakan sistem tidak langsung (*indirect*). Panas yang dihasilkan dari pembakaran biomassa akan dipindahkan ke media pengering yang akan digunakan dalam proses pengeringan karet remah. Karena menggunakan sistem tidak langsung, asap hasil pembakaran biomassa tidak masuk ke dalam sistem sehingga proses pengeringan karet remah berlangsung lebih maksimal. Bahan bakar cangkang sawit yang digunakan umumnya sudah dalam kondisi kering. Keuntungannya proses pembakaran cangkang sawit menjadi lebih optimal dan panas yang dihasilkan juga menjadi lebih maksimal.

2. Aspek Ekonomis

Hasil studi kasus di pabrik karet remah yang ada di Provinsi Kalimantan Barat, diketahui konsumsi bahan bakar biomassa cangkang sawit sekitar 123,8 kg per ton karet kering (Tabel 3). Jumlah ini memang jauh lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar solar yang berkisar 25 liter per ton karet kering. Tetapi berdasarkan hasil perhitungan ekonomis, biaya proses pengeringan karet remah menggunakan cangkang sawit ternyata lebih murah dibandingkan bahan bakar solar (Tabel 4). Biaya bahan bakar biomassa untuk pengeringan karet remah sekitar Rp 77,4 ~ Rp. 78 per kg karet kering. Sedangkan biaya penggunaan solar untuk industri mencapai Rp. 275 per kg karet kering. Hasil perhitungan ini



Gambar 7. Unit pembakaran biomassa cangkang sawit. (a) motor penggerak untuk menyuplai bahan bakar, (b) pipa/saluran input bahan bakar ke dalam ruang pembakaran dan (c) ruang pembakaran



Gambar 8. Abu hasil pembakaran biomassa cangkang sawit.

Pengeringan karet remah berbasis sumber energi biomassa

Tabel 3. Konsumsi bahan bakar biomassa cangkang sawit dalam pengeringan karet remah.

Mesin Pengering	Konsumsi biomassa (kg)	Produksi karet		Konsumsi biomassa (kg/ton karet kering)
		Bale	Ton	
Blaze 1	4.550	1.050	36,75	123,8
Blaze 2	5.850	1.350	47,25	123,8
Total	10.400	2.400	84	-

Tabel 4. Perbandingan biaya konsumsi bahan bakar menggunakan cangkang sawit dan solar^{*)}.

Bahan Bakar	Konsumsi (per ton karet kering)	Biaya ^{**)} (Rp per kg/liter)	Biaya Produksi (Rp/ton)	Biaya Produksi (Rp/kg)
Cangkang sawit	123,8 kg	625	77.375	77,4
Solar industri	25 liter	11.000	275.000	275

*) studi kasus pabrik karet remah di Kalimantan Barat tahun 2013.

**) biaya/harga bahan di pabrik pengolahan karet remah

menunjukkan bahwa biomassa khususnya cangkang sawit sangat potensial untuk dikembangkan sebagai sumber bahan bakar dalam proses pengeringan karet remah.

Kesimpulan

Pengeringan adalah tahapan/proses penting yang sangat menentukan mutu karet remah. Proses ini juga merupakan salah satu tahapan yang menggunakan energi yang sangat besar. Sumber energi alternatif potensial yang dapat digunakan berupa biomassa dari limbah industri pengolahan produk pertanian. Keuntungan penggunaan biomassa sebagai sumber energi dalam pengeringan karet remah antara lain mengurangi biaya produksi, lebih ramah lingkungan, dan ketersediaannya lebih banyak sehingga lebih terjamin dalam keberlangsungannya (*sustainability*). Kendala utama penggunaan biomassa adalah terkait dengan pengaturan suhu yang kurang stabil. Solusinya dapat diatasi dengan merancang sistem otomatis dalam pengendalian suhu ruang pengering dan suplai bahan bakar. Biaya penggunaan biomassa sebagai bahan bakar pengeringan karet remah hanya sekitar Rp. 78 per kg karet kering. Sedangkan biaya penggunaan bahan bakar solar industri sebesar Rp. 275 per kg karet kering.

Daftar Pustaka

- Ahsan, S. 2012. Pembuatan bahan bakar padat dari limbah bambu dengan metode torefaksi untuk *co-firing*. Thesis. Institut Teknologi Bandung, 5-6.
- Amrul, A. Suwono, T. Hardianto dan D. Pasek. 2012. Studi awal kelayakan ekonomi pabrik torefaksi sampah perkotaan menjadi bahan bakar padat setara batubara skala pilot berkapasitas 25 ton per jam. Proceeding Seminar Nasional Energi Terbarukan dan Produksi Bersih. Universitas Lampung. 245-250.
- Bergman, P. C. A., Boersma, A. R., Zwart, R. W. R., and J. H. A. Kiel. 2005. Torrefaction for biomass *co-firing* in existing coal-fired power stations, "Biocoal". ECN-C-05-013. Energy Research Center of the Netherlands (ECN). 13-14.
- Badan Pusat Statistik. 2011. Statistik Indonesia 2011. Badan Pusat Statistik Jakarta. ISSN 0126-2912, 236-237.
- Chen, W. H, Hsu, H. C, Lu, K. M, Lee, W.J., dan Lin, T. C. 2011. Thermal pretreatment of wood (Lauan) block by torrefaction and its influence on the properties of the biomass. Energy 36, 3012–3021.
- Elinur, D. S. Priyarsono, M. Tambunan dan M. Firdaus. 2010. Perkembangan konsumsi dan penyediaan energi dalam perekonomian Indonesia. Indonesian Journal of Agricultural Economics Vol.2 No.1. 97-119.

- Gapkindo. 2011. *List of member 2011*. Gabungan Perusahaan Karet Indonesia. Jakarta, 16-70.
- Gapkindo. 2013. Buletin karet. Gabungan Perusahaan Karet Indonesia. April 2013, No.4 Th.XXXV. ISSN 0216-9908, 21-22.
- Harris, S. A. dan S. Mahmudsyah. 2013. Studi pemanfaatan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung. *Jurnal Teknik Pormits*. Vol.2, No.1, ISSN 2337-3539, B73-B78.
- IEA Bioenergy. 2002. Greenhouse gas balances of biomass and bioenergy systems. Task 38 : An International Research Collaboration Under The Auspices of The International Energy Agency. http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/page/resources/ref_lib_res/publications/iea%20ghg%20gas%20ballances%20of%20biomass%20systems.pdf, diakses pada tanggal 25 februari 2014, 3-4.
- IEA Bioenergy. 2014. *IEA Bioenergy Task 33 : Thermal gasification of biomass*. , diakses pada tanggal 25 Februari 2014, page 1.
- Irawan, A., Y. Patresya dan N. N. Karina. 2012. Kajian awal pengolahan sekam padi sebagai bahan bakar untuk ketahanan energi nasional melalui proses torefaksi. *Proceeding Seminar Nasional Energi Terbarukan dan Produksi Bersih*. Universitas Lampung.
- Kemenperin. 2007. Gambaran sekilas industri minyak kelapa sawit. Sekretariat Jenderal, Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian. Jakarta.
- Mardiana, D dan R. Mahardika. 2010. Pemanfaatan limbah biomass sebagai bahan bakar alternatif dalam kegiatan *co-processing* di Semen Gresik. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Maspanger, D. R., L. A. Agus, dan M. Sinurat. 1999. Potensi briket dan batubara mentah sebagai bahan bakar alternatif untuk pengeringan karet. *Warta Pusat Penelitian Karet, Sungei Putih*, Vol. 18 No.1-3, 2-3.
- Mariati, R. 2009. Pengaruh produksi nasional, konsumsi dunia dan harga dunia terhadap ekspor *crude palm oil* (CPO) di Indonesia. *Jurnal EPP* Vol.6 No.1. 30-35.
- Muryanto, S. 2008. Biomass as a source of household energy in developing countries : technology and sustainable development issues. *Proceeding Internasional Seminar SISEST 2008*. Universitas Sriwijaya. 197—199.
- Novia, M. Faizal dan S. Hariadi. 2012. Analisis pengaruh *tube plugging* terhadap karakteristik perpindahan panas *heat exchanger* Dengan Pemodelan CFD. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya* Vol.21 No.3. 1-5.
- Prastowo, B. 2007. Potensi sektor pertanian sebagai penghasil dan pengguna energi terbarukan. *Perspektif* Vol.6 No.2/ Desember 2007. ISSN 1412-8004. 84-92.
- Singh, G. S., S. Manoharai, dan T. S. Toh. 1990. United plantations approach to oil palm mill by product management and utilization. *Proceeding of International Palm Oil Development Conference-Agriculture*, 1989. Dalam *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit dan Produk Turunannya*, Medan. 5-6.
- Syahrul. 2008. Prospek pemanfaatan energi angin sebagai energi alternatif di daerah pedesaan. *Media Elektrik* Vol.3 No.2. 140-144.
- Sugiyono, A. 2010. Pengembangan energi alternatif di Daerah Istimewa Yogyakarta : prospek jangka panjang. *Prosiding Seminar Nasional VI Universitas Teknologi Yogyakarta*. Buku 4 : *Teknologi Industri*. ISSN No.978-979-1334-29-7. 1-13.
- Suwardin, D. 2011. Pemanfaatan limbah perkebunan karet dan pabrik karet remah sebagai sumber bioenergi. *Warta Perkaretan* volume 30, nomor 2, ISSN 0216-6062. Pusat Penelitian Karet, Bogor. 88-94.
- Syahputra, R., Z. Kadir dan A. Khamwicht. 2013. Optimalisasi *single air downdraft gasifier* dalam produksi gasifikasi biomassa dengan pemodelan *computational fluid dynamic* dan neraca energi. *Prosiding Seminar Nasional Added Value of Energy Resources Ke-5*, 28 November 2013. Universitas Sriwijaya, Palembang. 102-111.
- Vachlepi, A. 2007. Laporan kegiatan masa percobaan. Balai Penelitian Sembawa-Pusat Penelitian Karet. 19-21.
- Vachlepi, A. 2012. Desain proses dan spray dryer untuk produksi tepung karet alam dari lateks. Tesis Pasca Sarjana. Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung. 14-19.