

POTENSI PENGEMBANGAN BIO-PELET BEBAHAN BAKU LIMBAH KELAPA SAWIT

Elita R Widjaya⁽¹⁾ Sigit Triwahyudi⁽¹⁾, Harsono⁽¹⁾

⁽¹⁾ Balai Besar Pengembangan Mekanisasi
Pertanian Jl. Sinarmas Boulevard, Serpong

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) sebagai bahan mentah dari minyak sawit mentah (CPO) adalah komoditas yang tumbuh pesat di sektor perkebunan. CPO banyak digunakan di berbagai industri seperti industri makanan, sabun, sampo, deterjen, pelumas, kosmetik, dan produk farmasi. Limbah padat dari proses produksi termasuk residu seperti cangkang, sabut, daun kelapa, bungkil inti sawit, dan limbah tandan buah kosong (EFB). Limbah ini tersedia dalam jumlah berlimpah dan sebagian besar tersedia di pabrik pengolahan kelapa sawit. Makalah ini bertujuan untuk mempelajari potensi pengembangan pelet sebagai bahan bakar yang terbuat dari limbah padat kelapa sawit. Limbah padat terdiri dari tandan kosong, cangkang dan sabut kelapa sawit. Meskipun memiliki nilai pemanasan yang cukup tinggi (12-16 MJ/kg), limbah padat kelapa sawit memiliki berat jenis yang rendah (112 – 572 kg/m³) serta ukuran yang tidak seragam. Densitas yang rendah serta ukuran yang tidak seragam terkadang menjadi penyebab terjadinya masalah teknis dalam konversi energi seperti ketidak stabilan pembakaran atau kegagalan proses gasifikasi. Densifikasi dapat meningkatkan efisiensi konversi energi serta memudahkan transportasi. Penggunaan bahan bakar dalam bentuk yang seragam seperti pelet, akan memudahkan alat pengkonversi energi dikombinasikan dengan sistem kontrol otomatis, sehingga penggunaan bahan bakar padat akan menyamakan penggunaan bahan bakar gas atau bahan bakar cair. Produksi bio-pellet berbahan baku limbah kelapa sawit terdiri dari pengecilan dan penyeragaman ukuran, pencampuran dengan bahan pengikat, pengepresan dan pengeringan. Peningkatan karakteristik termo-kinetik bio-pelet dapat dilakukan dengan menambahkan katalis ke dalam pelet. Peningkatan nilai kalori juga dapat dilakukan dengan mencampurkan arang atau batu bara. Energi untuk produksi pelet rata-rata 20% dari nilai kalori pelet. Pengembangan bio-pelet dari limbah kelapa sawit dapat menjadi alternatif pelet berbahan baku kayu yang saat ini telah berkembang di pasar komoditas.

Kata kunci: limbah biomassa, kelapa sawit, bio-pelet, tandan kosong, sabut, cangkang

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara penghasil sawit (*Elaeis guineensis*) terbesar di dunia. Lahan perkebunan sawit Indonesia mencapai 14,03 juta hektar pada tahun 2017. Produk utama sawit adalah minyak kasar sawit, *crude palm oil* (CPO) and minyak inti sawit, *palm kernel oil* (PKO). CPO and PKO digunakan sebagai bahan baku industri, yaitu industri makanan, kosmetik, sabun, pelumas, bahan bakar nabati dan produk farmasi. Produksi CPO Indonesia pada tahun 2013 mencapai 26 juta ton, berkembang pesat sebesar 40% dari tahun 2007 yang hanya mencapai 16 juta ton. Perkembangan sawit yang cepat di Indonesia, salah satunya disebabkan oleh produktivitas sawit yang cukup tinggi dibandingkan tanaman lain penghasil minyak nabati. Sebagai contoh 1 hektar sawit dapat menghasilkan 7,7 -9,1 ton CPO, sedangkan dengan luasan yang sama untuk *rapeseed* hanya

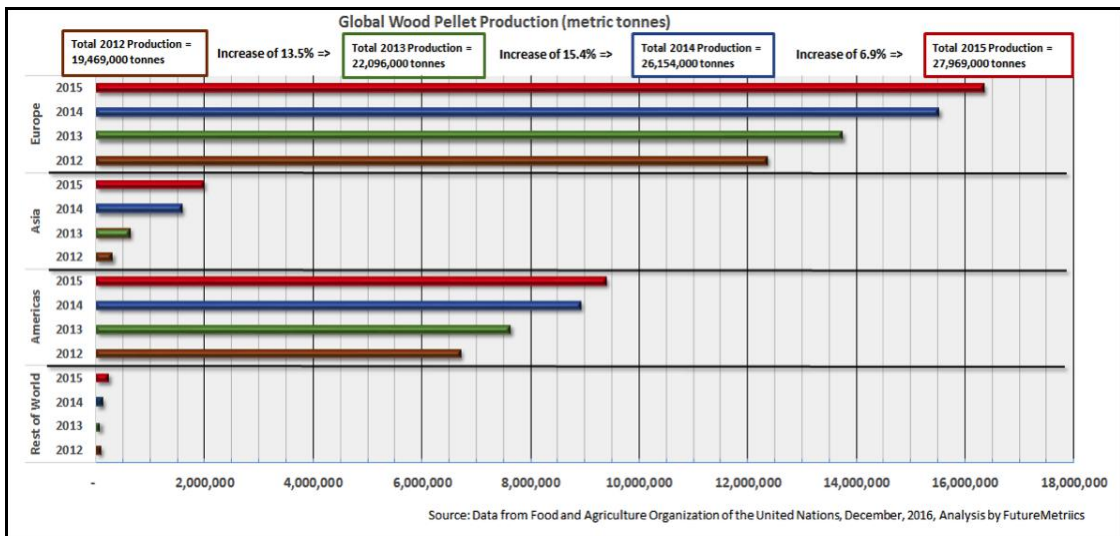
menghasilkan 1 ton minyak (Dirjen Perkebunan, 2017).

Dalam perkembangannya akhir-akhir ini, industri sawit diterpa isu-isu negative mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan. Upaya peningkatan produksi sawit yang meminimalisasi dampak lingkungan harus terus digalakkan, di antaranya dengan mendaur ulang limbah produksi sawit. Makalah ini mengkaji potensi pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai sumber bahan baku energy terbarukan yaitu bio-pellet. Bio-pellet merupakan bahan bakar padat yang terbuat dari biomassa.

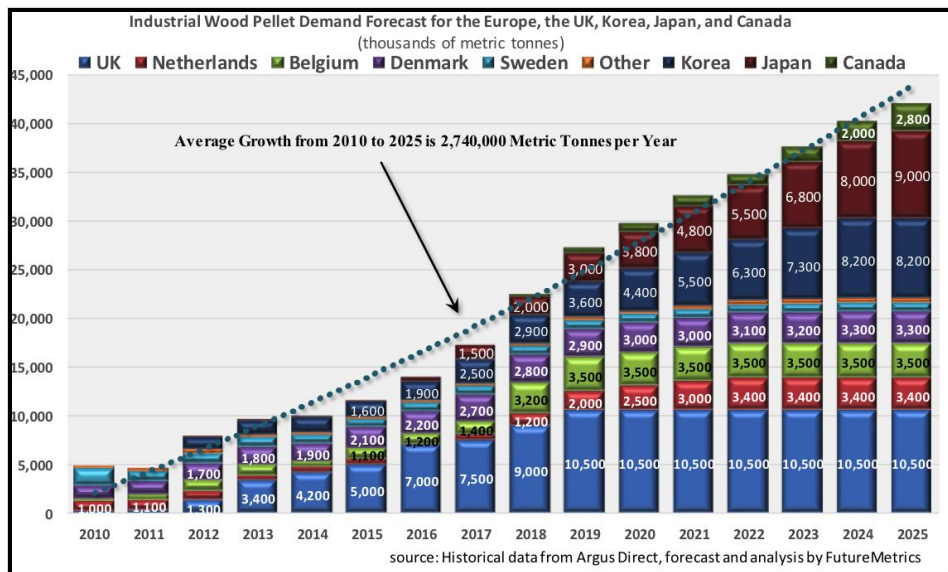
Salah satu kelemahan penggunaan biomassa secara curah adalah sulitnya mengontrol proses konversi energi akibat biomassa mempunyai ukuran yang tidak seragam dan densitas yang rendah. Pada konversi energi secara pembakaran (*combustion*), panas yang dihasilkan

tidak stabil serta rendahnya efisiensi konversi energy. Pada konversi energy secara gasifikasi, proses aliran bahan yang tidak stabil menyulitkan dalam pengkondisian rasio bahan bakar dan oksigen (Fryda *et al.*, 2008; Lahijani & Zainal, 2011), sehingga gas yang diharapkan terbentuk (CO, CH₄ dan H₂) dari serangkaian proses thermo-kimia, produksinya rendah. Dalam bentuk yang padat dan seragam seperti bio-pellet, diharapkan proses konversi energy dapat dengan mudah dikontrol dengan system automatisasi. semudah penggunaan bahan bakar cair.

Dalam bentuk pellet, bahan bakar biomassa lebih mudah untuk ditransportasikan. Pada saat ini bio-pellet telah menjadi komoditas yang diperdagangkan di pasar internasional, terutama pellet yang terbuat dari limbah kayu (*wood pellet*). Perkembangan pasar dunia *wood pellet* meningkat rata-rata 10%/tahun dalam beberapa tahun terakhir ini, terutama di pasar negara-negara maju seperti Eropa, Jepang, USA dan Canada (Gambar 1). Prediksi permintaan bio-pellet untuk keperluan industry dalam beberapa tahun ke depan seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Pasar *wood pellet* dunia (www.pellet.org)



Gambar 2. Permintaan dan perkiraan permintaan bio-pellet untuk keperluan energy industry (www.pellet.org)

Bio-pellet saat ini digunakan untuk keperluan *heating domestic/residential* dan *industry*. Untuk keperluan *domestic*, kualitasnya sangat ketat terutama pada bahan-bahan *pollutant* dan emisi yang berbahaya bagi kesehatan. Standar bio-pellet telah diterapkan di beberapa negara, seperti: Önorm M 7135 (Austria), DIN 51731 (Jerman), EN 14961-1 & 2:2011 (kawasan Eropa), Pellet Fuel Institute (USA) (Duca *et al.*, 2014). Standar internasional tentang klasifikasi bio-pellet berbahan kayu juga telah ditetapkan, ISO 17225-2:2014.

Dengan berkembangnya permintaan bio-pellet, diversifikasi sumber bahan baku biomassa, akan semakin meningkat. Limbah pertanian, seperti limbah sawit, dapat menjadi *alternative* sumber bahan baku bio-pellet. ISO 17225-6:2014 telah mengatur klasifikasi bio-pellet berbahan baku *non-woody* untuk keperluan *heating domestic/residential* (ISO, 2014). Untuk keperluan *industry*, di mana emisi dan polusinya dapat diminamisir dengan penerapan teknologi yang dapat mengolah emisi dan *pollutant*, belum ada standarisasi yang secara khusus mengatur kandungan bio-pellet yang dijual di pasaran. Untuk itu pellet berbahan baku *non-woody* biomassa dapat diintroduksikan untuk keperluan *industry*.

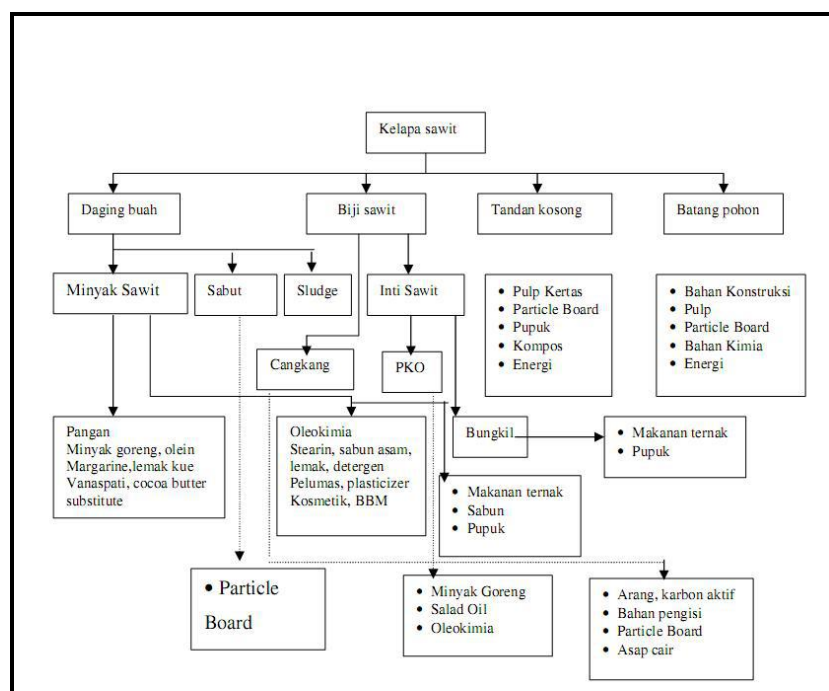
Makalah ini bertujuan mengkaji potensi pengembangan bio-pellet berbahan dasar limbah

kelapa sawit. Potensi limbah akan dijelaskan pada bagian pertama, selanjutnya sifat fisik dan kimia limbah dijelaskan berdasarkan data-data referensi yang telah tersedia saat ini. Makalah ini juga menjelaskan proses produksi bio-pellet yang telah ada saat ini serta gambaran perkiraan kebutuhan *energy* untuk produksi bio-pellet tersebut.

2. Potensi limbah kelapa sawit sebagai bahan baku bio-pellet

Produk primer sawit adalah minyak mentah sawit (*crude palm oil*, CPO) and minyak inti sawit (*palm kernel oil*, PKO). Minyak mentah sawit dan minyak inti sawit digunakan di berbagai macam *industry* pangan, pakan, kosmetik, bahan bakar cair dan bahan kimia. Gambar 3 memperlihatkan pohon *industry* kelapa sawit. Gambar 3 juga memperlihatkan peluang limbah kelapa sawit berupa, tandan kosong, batang dan pelepah pohon, sabut dan cangkang sawit yang dapat diolah menjadi papan partikel, bahan konstruksi, arang, arang aktif, pupuk, kompos dan *energy*.

Pada saat ini limbah sawit belum banyak diolah; meskipun sebagian kecil cangkang sawit telah digunakan untuk bahan bakar di pabrik sawit untuk produksi energi dengan menggunakan *system boiler*. Sedangkan tandan kosong sawit hanya dikembalikan ke lahan sebagai bahan organik.



Gambar 3. Rantai prosesing produk sawit (<https://poltekcwe.wordpress.com>)

Peluang pengembangannya sebagai sumber energi terbarukan masih cukup besar. Tabel 1 memperlihatkan sifat fisik dan kimia limbah kelapa sawit tersebut dibandingkan dengan beberapa biomass lainnya. Cangkang sawit dan sabut sawit mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi dibandingkan jenis non-woody lainnya. Nilai kalornya mendekati *woody biomass*. Namun demikian, densitasnya masih sangat rendah; dua kali lebih kamba dibandingkan limbah serbuk gergaji atau

batok kelapa. Pada saat ini cangkang sawit telah diekspor dengan volume rata-rata sebesar 1,5 juta ton/tahun dengan tujuan Thailand, Taiwan, Korea Selatan dan Jepang. Apabila dapat ditransportasikan dalam bentuk padat, kemungkinan dapat menghemat biaya transportasi. Tandan kosong sawit juga mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi untuk dijadikan sumber bahan bakar padat. Pelepah sawit lebih berpotensi dijadikan bahan pakan hijauan dibandingkan bahan bakar pada.

Table 1. Properties bahan bakar padat biomassa dan batu bara

Biomass	Proximate (% bb)				Ultimate (% db)					HHV (MJ/kg)	Bera t jenis (kg/m ³)	Referensi
	FC	VM	M	abu	C	H	O	N	S			
<i>Non Woody</i>												
Bagasse tebu	31	65	9.4	3.6	49.4	6.3	43.9	0.3	0.07	18.9	68	(Jordan & Akay, 2013)
Tandan kosong sawit	8.79	82.58	5.18	3.45	46.62	6.45	45.7	1.21	0.04	17.02	112	(Mohammed, M.A.A et al., 2012)
Cangkang sawit	19.1	62.8	6.3	11.8	46.7	5.9	42.0	1.0	0.06	19.78	440	(Ahmad et al., 2014)
Sabut sawit	12	71.5	9.3	7.2	46.9	5.9	42.7	1.1	0.09	19.61	460	(Nur, 2014; WAFTI et al., 2017)
Tongkol jagung*	18.5 4	80.10	NA	1.36	46.58	5.87	45.5	0.93	0.16	18.77	282	(Jenkins & Ebeling, 1985)
Sekam padi*	16.6 7	65.47	NA	17.8 6	40.96	4.3	35.9	0.4	0.02	16.14	70-145	(Jenkins & Ebeling, 1985)
<i>Woody</i>												
Serbuk gergaji*	16.2 7	82.45	NA	1.28	50.26	6.14	42.2	0.07	0.05	20.47	210	(Lapuerta et al., 2008)
Batok kelapa*	21.3 8	77.82	NA	0.8	49.62	7.31	42.7 5	0.22	0.10	20.8	213	(Iqbalidin et al., 2013)
<i>Batu bara</i>												(Higman & van der Burgt, 2008)
Lignite	27.8	24.9	36.9	10.4	71.0	4.3	23.2	1.1	0.4	26.7	641-865	
Sub-bituminous	43.6	34.7	10.5	11.2	76.4	5.6	14.9	1.7	1.4	31.8	650-900	
Bituminous	54.9	35.6	5.3	4.2	82.8	5.1	10.1	1.4	0.6	36.1	673-913	
Anthracite	81.8	7.7	4.5	6	91.8	3.6	2.5	1.4	0.7	36.2	800-929	
<i>Arang</i>												
Arang kayu	67.5	18.7	6.1	7.7	77	4.2	11.5	0.3	0.6	30.3	200-400	(Rasul, 2001)
Arang batok kelapa*	76.3 2	10.6	NA	13.0 8	NA	NA	NA	NA	NA	30.75	450-600	(Mohammed, M.A.A et al., 2012)

*basis kering (dB)

3. Proses produksi bio-pellet

3.1. Perlakukan pendahuluan

Berdasarkan sifat fisik bahan baku bio-pellet, pre-treatment dapat dilakukan sebelum proses pengepresan. Pre-treatment meliputi satu atau kombinasi beberapa metode berikut ini:

- *Pengecilan/penyeragaman ukuran*

Ukuran yang besar dan bentuk yang tidak seragam dari bahan baku biomassa memerlukan pengecilan ukuran sebelum bahan di press menjadi bio-pellet. Pada umumnya, ukuran bahan yang kecil mempunyai luas permukaan yang lebih besar untuk memungkinkan percepatan reaksi kimia

serta lebih memudahkan dalam proses pindah panas. Selain itu ukuran yang lebih kecil serta seragam akan mengurangi energy yang dibutuhkan untuk pengepresan.

Bio-pellet yang beredar di pasaran mempunyai ukuran diameter antara 6-10 mm dan panjang 10-60 mm. Bahan baku pellet dari limbah kelapa sawit seperti tandan kosong sawit mempunyai ukuran yang cukup besar (Gambar 4) sehingga memerlukan pengecilan ukuran sebelum dijadikan pellet. Demikian pula dengan cangkang sawit dan pelepah sawit, pengecilan ukuran dibutuhkan dalam pembuatan pellet.

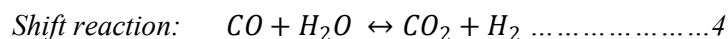
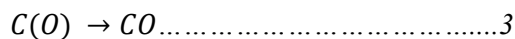
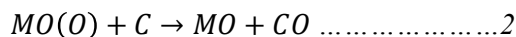
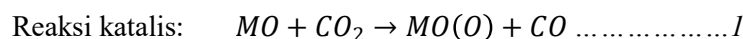


Gambar 4. Pencacah tandan kosong kelapa sawit

- *Penambahan bahan aditif dan pencampuran*

Limbah kelapa sawit termasuk jenis non-woody biomassa. Salah satu sifat non-woody biomassa, berasal dari kadar ligninnya yang rendah, adalah reaksi pembakarannya cepat dan terjadi pada suhu yang rendah. Pada kondisi ini, tar mudah terbentuk, menyebabkan permasalahan teknis pada proses konversi thermokimia terutama pada gasifikasi. Mohammed, M.A.A *et al.* (2012) melakukan penelitian penambahan beberapa bahan

katalis seperti dolomite, NaOH, NaCl, CaO, ZnO dan NiO pada gasifikasi tandan kosong sawit. Penambahan bahan katalis ini dilakukan tidak hanya untuk memecah tar, tetapi juga untuk mereaksikannya lebih lanjut untuk meningkatkan kadar CO dan hydrogen dalam gas. Reaksi kimia yang terjadi akibat penambahan bahan katalis (M) sebagai berikut (Huang *et al.*, 2009; Mohammed, M.A.A. *et al.*, 2012):



Untuk bahan baku biomass tipe *non-woody*, peningkatan nilai kalor pellet dan sifat termokimianya dengan melakukan penambahan zat lainnya telah dilakukan sebelumnya (Holt *et al.*, 2006; Jordan & Akay, 2013; Emami *et al.*, 2014).

Penambahan katalis komersial berbasis kalsium, penambahan minyak dan gliserol dalam proses pembuatan pelet dapat meningkatkan nilai kalor dan efisiensi konversi energi. Namun, penambahan zat ini kadang-kadang dapat menurunkan

durabilitas pelet, seperti pada kasus penambahan minyak pada produksi pellet berbahan baku limbah pabrik kapas (Holt *et al.*, 2006). Gasifikasi pellet yang terbuat dari bagasse juga telah ditambahkan CaO untuk mengurangi tar yang terbentuk pada suhu rendah. Jordan and Akay (2013) melaporkan bahwa penambahan CaO sebesar 2-6% pada gasifikasi pellet bagas secara downdraft dapat menurunkan tar sebanyak 16-35%, menurunkan konsentrasi tar sebanyak 44-80% pada syngas, dan menghasilkan peningkatan produksi syngas sebesar 17-37%.

Peningkatan nilai kalor pellet berbahan dasar *non-woody* juga dapat dicampur dengan bahan lainnya (*co-blending*) yang mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi seperti batu-bara, bio-char atau bahan woody lainnya (Yi *et al.*, 2013; Rizkiana *et al.*, 2014; Tchabda & Pisupati, 2014). Selain dapat meningkatkan nilai kalor, pencampuran ini dapat menghasilkan synergi akibat sifat dasar kedua jenis bahan bakar yang berbeda (Pan *et al.*, 2000; Ruhul Kabir & Kumar, 2012; Rizkiana *et al.*, 2014; Duan *et al.*, 2015). Sifat bio-char dan batu bara yang bereaksi lebih lambat dari bahan *non-woody*, dapat mentransfer panasnya untuk memecah tar selama proses konversi *non-woody* yang berlangsung pada suhu yang lebih rendah dan cepat. Di sisi lain, *non-woody* biomassa juga mempunyai kadar abu yang tinggi, di mana beberapa jenis mineral yang terkandung di dalamnya seperti Kalium (K), Calcium (Ca), Natrium (Na), besi (Fe) dan magnesium (Mg) secara alamiah dapat bertindak sebagai katalis (Huang *et al.*, 2009). Namun demikian, kandungan silica (Si) yang tinggi pada *non-woody* dapat menghambat proses katalisa (Masnadi *et al.*, 2015).

3.2. Pengepresan

Tujuan awal dari densifikasi biomassa menjadi pellet adalah untuk meningkatkan densitas. Pelet biomassa, terutama pelet yang terbuat dari limbah kayu telah tersedia secara komersial selama bertahun-tahun. Dalam bentuk pellet juga dapat meningkatkan efisiensi konversi termokimia. Dalam bentuk pellet, pembakaran biomassa jenis *non-woody* dapat menghasilkan sisa abu yang lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran dalam bentuk curah. Holt *et al.* (2006) melaporkan residu abu sisa pembakaran pelet yang terbuat dari limbah pabrik kapas menurun dua hingga tiga kali lipat dibandingkan dengan pembakaran bahan yang sama dalam bentuk curah.

Dalam bentuk pellet, penggunaan bahan bakar biomassa pada skala industri kemungkinan lebih diminati karena lebih mudah dalam pengumpanan. Pembakaran / gasifikasi pelet lebih mudah dikendalikan dibandingkan dengan sistem pengumpanan biomassa secara curah. Bentuk dan ukuran yang tidak seragam dari biomassa tipe *non-woody* sering menjadi penyebab terjadinya kemacetan dalam sistem pengumpanan. Ini dapat menyebabkan pembakaran atau gasifikasi yang tidak stabil dan menurunkan efisiensi keseluruhan. Dalam bentuk pellet, kemudahan sistem kontrol otomatis dapat sebanding dengan penggunaan bahan bakar cair atau gas (Vinterbäck, 2004).

Proses pembuatan pelet biomassa menggunakan peralatan standar yang telah tersedia di pasaran di antaranya ekstruder atau *roller-plate, die-pellet-mill*. Efisiensi peralatan tergantung pada suhu, konfigurasi rol, tekanan, laju pengumpan, kadar air dan sifat fisiko kimia bahan baku. Meskipun pelet kayu telah tersedia secara komersial, properties biomassa yang sangat beragam masih membutuhkan kajian spesifik terhadap bahan baku yang digunakan. Efek bahan pengisi/pengikat, penambahan bahan aditif dan perlakuan suhu pengepresan, tekanan yang dibutuhkan serta kadar air merupakan variable spesifik yang masih perlu dikaji terhadap bahan baku biomassa yang digunakan.

Secara alami, lignin, protein, pati dan karbohidrat yang larut dalam air yang terkandung pada bahan dapat bertindak sebagai pengikat pada pembuatan pellet (Lu *et al.*, 2014). Bahan lignoselulosa memiliki ikatan lignin dalam bentuk matriks lignoselulosa yang spesifik. Tekanan dikombinasikan dengan suhu tinggi berpengaruh pada pelunakan ikatan polimer, selanjutnya melewati fase pembentukan lapisan plastik. Masing-masing biomassa type *non-woody* memiliki komposisi lignocelulosic dan struktur ikatan yang spesifik, sehingga optimasi variable operasi pembuatan pellet seperti suhu, tekanan dan kadar air bahan sangat spesifik terhadap bahan baku pellet yang digunakan.

Terkadang perlakuan awal modifikasi ikatan lignin, selulosa dan hemiselulosa dapat ditambahkan sebelum dilakukan pengepresan; bertujuan untuk menghasilkan durabilitas pellet yang seragam dan mengurangi energi pengepresan. Perlakuan modifikasi ikatan lignoselulosa dapat berupa pemberian uap panas, asam / alkali dan atau fermentasi (Agbor *et al.*, 2011). Pada skala industri,

teknologi pemberian uap panas sering diterapkan, dilakukan pada suhu 180-240°C (Shahrukh *et al.*, 2016). Fermentasi secara biologis dapat mengurangi energy input proses produksi pellet, namun untuk penerapan yang efisien dalam industri skala besar masih memerlukan perhatian untuk penyederhanaan proses (Agbor *et al.*, 2011). Apabila modifikasi ikatan lignoselulosa masih tidak memadai untuk pembedakan struktur pelet biomassa, penambahan bahan pengisi dan atau *binder* masih sering dilakukan (Sultana *et al.*, 2010). Binder atau aditif lainnya dapat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan, durabilitas dan sifat termokimia dari pelet yang dihasilkan. Penambahan pati, bentonit, lignosulfonat dapat lebih meningkatkan struktur fisik pelet.

4. Perkiraan kebutuhan energy produksi bio-pellet

Selain meningkatkan densitas, densifikasi juga dapat meningkatkan efisiensi konversi energi dan mengurangi masalah-masalah teknis akibat sifat fisik bahan bakar biomassa. Peningkatan densitas dapat mengurangi biaya transportasi. Namun demikian, pengolahan menjadi bio-pellet membutuhkan energi input. Perbandingan konsumsi energi dengan energi yang diperoleh telah dilakukan dalam beberapa studi produksi pelet berbahan baku biomasa (Uslu *et al.*, 2008; Sultana *et al.*, 2010; Shahrukh *et al.*, 2016).

Uslu *et al.* (2008) melakukan perhitungan net energy yang terkandung di dalam pellet dibandingkan energy untuk proses produksinya. Hasil perhitungan menunjukkan energy yang dibutuhkan untuk proses produksi pelet sebesar 14% dari energy yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan pula perhitungan biaya produksi pellet dibandingkan dengan biaya produksi solar dan bensin. Hasil studi melaporkan bahwa biaya produksi biopellet sebesar €7/GJ, sedangkan biaya produksi bensin dan solar berturut-turut €2-7/GJ dan €3-7/GJ, tergantung harga pasar minyak dunia.

Shahrukh *et al.* (2016) mempelajari rasio energy output-input (NER) pada produksi pellet berbahan baku jerami gandum dan rumput jenis switchgrass, dengan metode treatment awal pengecilan ukuran dan penambahan uap sebelum pengepresan. NER untuk pellet jerami gandum dan switchgrass masing-masing 1.62 dan 1.42. NER pellet switchgrass lebih rendah disebabkan pada proses pembuatannya, karena dibutuhkan tambahan energy untuk mengeringkan bahan baku.

Sultana *et al.* (2010) mempelajari biaya produksi pellet berbahan baku limbah gandum, barley dan oats untuk studi kasus di Canada. Biaya produksi pellet masing-masing \$170, \$129 dan \$122 per tonne. Biaya produksi masih cukup mahal dibandingkan harga natural gas.

Berdasarkan analisis energy input-output produksi bio-pellet berbahan baku non-woody tersebut, nilai output yang dihasilkan lebih tinggi dari energy input untuk produksi pellet. Namun demikian, peluang untuk pengurangan energy input masih sangat dibutuhkan. Pre-treatment dengan menggunakan uap (*steam pre-treatment*) dan energy untuk pengeringan berkontribusi signifikan dalam proses produksi pellet. Pengurangan energy input masih dapat dilakukan, misalnya dengan pre-treatment menggunakan metode fermentasi untuk memodifikasi ikatan lignoselulosa untuk menggantikan metode *steam pre-treatment*. Selain itu upgrading nilai kalor pellet dengan pencampuran bahan lainnya (*co-blending*) dapat meningkatkan net energy pellet yang dihasilkan. Ke depan, pasar pellet yang semakin meningkat masih membutuhkan kajian optimalisasi dan rekayasa proses produksi pellet yang lebih efisien. Hal ini merupakan tantangan dalam dunia penelitian dan rekayasa produksi bio-pellet dalam waktu dekat untuk mencari sumber bahan baku pengganti limbah kayu dan meningkatkan kualitas bio-pellet tersebut.

5. Kesimpulan dan saran

- Limbah padat sawit berupa tandan kosong, cangkang sawit dan sabut (*fiber*) termasuk dalam kategori *non-woody biomass*, namun nilai kalornya cukup tinggi mendekati *woody biomass*
- Cangkang sawit dan *fiber* telah digunakan sebagai sumber energy di pabrik pengolahan sawit untuk bahan bakar boiler. Sisanya diekspor ke berbagai negara. Apabila dapat ditransportasikan dalam bentuk padat seperti *pellet fuel*, biaya transportasi akan lebih hemat dan meningkatkan nilai tambah produk.
- Tandan kosong sawit mempunyai ukuran yang cukup besar dan memerlukan pengecilan ukuran serta peningkatan kualitas jika digunakan sebagai bahan bakar.
- Produksi pellet berbahan baku baik cangkang sawit, *fiber* dan tandan kosong sawit berpeluang cukup besar untuk dilakukan dalam rangka meningkatkan kualitas limbah

ini sebagai bahan bakar dan meningkatkan densitas untuk memudahkan transportasi. Dalam bentuk pellet, kadar air yang rendah memungkinkan bahan bakar biomassa dapat disimpan dalam waktu lama.

- Peningkatan kualitas pellet (*upgrading*) dapat dilakukan dengan menambahkan bahan katalis dan atau mencampurkan bahan baku ini dengan bahan bakar lainnya seperti arang biomassa, batu bara atau jenis woody biomass lainnya.
- Hasil studi sebelumnya memperlihatkan bahwa energy pellet yang dihasilkan lebih besar dari energy produksinya; energy input bervariasi antara 14% s/d 40% dari energy outputnya. Proses pre-treatment dengan menggunakan uap (*steam*) dan pengeringan bahan baku dan atau pellet yang dihasilkan secara signifikan berkontribusi terhadap energy input pembuatan pellet, sehingga masih dibutuhkan studi lanjutan proses produksi pellet untuk optimalisasi penggunaan energinya.

6. Daftar Pustaka

- Agbor, VB, Cicek, N, Sparling, R, Berlin, A & Levin, DB 2011, 'Biomass pretreatment: Fundamentals toward application', *Biotechnology Advances*, vol. 29, no. 6, pp. 675-85.
- Ahmad, R, Hamidin, N, Ali, UFM & Abidin, CZA 2014, 'CHARACTERIZATION OF BIO-OIL FROM PALM KERNEL SHELL PYROLYSIS', *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES), Univerity Putra Malaysia*, vol. 7, no. December 2014, pp. 1134-40.
- Dirjen Perkebunan 2017, Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017 kelapa sawit. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Duan, L, Duan, Y, Zhao, C & Anthony, EJ 2015, 'NO emission during co-firing coal and biomass in an oxy-fuel circulating fluidized bed combustor', *Fuel*, vol. 150, pp. 8-13.
- Duca, D, Riva, G, Foppa Pedretti, E & Toscano, G 2014, 'Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications', *Fuel*, vol. 135, pp. 9-14.
- Emami, S, Tabil, LG, Adapa, P, George, E, Tilay, A, Dalai, A, Drisdelle, M & Ketabi, L 2014, 'Effect of fuel additives on agricultural straw pellet quality', *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 92-100.
- Fryda, LE, Panopoulos, KD & Kakaras, E 2008, 'Agglomeration in fluidised bed gasification of biomass', *Powder Technology*, vol. 181, no. 3, pp. 307-20.
- Higman, C & van der Burgt, M 2008, *Gasification*, Gulf Professional Publishing. Copyright Elsevier Inc. All right reserved.
- Holt, GA, Blodgett, TL & Nakayama, FS 2006, 'Physical and combustion characteristics of pellet fuel from cotton gin by-products produced by select processing treatments', *Industrial Crops and Products*, vol. 24, no. 3, pp. 204-13.
- Huang, Y, Yin, X, Wu, C, Wang, C, Xie, J, Zhou, Z, Ma, L & Li, H 2009, 'Effects of metal catalysts on CO₂ gasification reactivity of biomass char', *Biotechnology Advances*, vol. 27, no. 5, pp. 568-72.
- Iqbalidin, MNM, Khudzir, I, Azlan, MIM, Zaidi, AG, Surani, B & Zubri, Z 2013, 'Properties of coconut shell activated carbon', *Journal of Tropical Forest Science*, vol. 25, no. 4, pp. 497-503.
- ISO 2014, *ISO 17225-6 Solid biofuels-Fuel specifications and classes*, Part 6: Graded non-woody pellets, ISO 17225-6:2014 (E), ISO copyright office, Switzerland.
- Jenkins, BM & Ebeling, JM 1985, *Thermochemical properties of biomass fuels: An analysis of 62 kinds of biomass for heat value*, University of California, Davis, viewed 8 July, <<http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfile/ca3905p14-62863.pdf>>.
- Jordan, CA & Akay, G 2013, 'Effect of CaO on tar production and dew point depression during gasification of fuel cane bagasse in a novel downdraft gasifier', *Fuel Processing Technology*, vol. 106, pp. 654-60.
- Lahijani, P & Zainal, ZA 2011, 'Gasification of palm empty fruit bunch in a bubbling fluidized bed: A performance and agglomeration study', *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 2, pp. 2068-76.
- Lapuerta, Hernández, JJ, Pazo, A & López, J 2008, 'Gasification and co-gasification of biomass wastes: Effect of the biomass origin and the gasifier operating conditions', *Fuel Processing Technology*, vol. 89, no. 9, pp. 828-37.

- Lu, D, Tabil, LG, Wang, D, Wang, G & Emami, S 2014, 'Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders', *Biomass and Bioenergy*, vol. 69, no. 0, pp. 287-96.
- Masnadi, MS, Grace, JR, Bi, XT, Lim, CJ & Ellis, N 2015, 'From fossil fuels towards renewables: Inhibitory and catalytic effects on carbon thermochemical conversion during co-gasification of biomass with fossil fuels', *Applied Energy*, vol. 140, pp. 196-209.
- Mohammed, MAA, Salmiaton, A, Azlina, WAKGW & Amran, MSM 2012, 'Gasification of oil palm empty fruit bunches : A characterization and kinetic study', *Bioresource Technology*, vol. 110, pp. 628-36.
- Mohammed, MAA, Salmiaton, A, Wan Azlina, WAKG, Mohamad Amran, MS, Omar, R, Taufiq-Yap, YH & Fakhru'l-Razi, A 2012, 'Catalytic Gasification of Empty Fruit Bunch for Enhanced Production of Hydrogen Rich Fuel Gas', *Pertanika Journal of Science & Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 139-49.
- Karakteristik Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioenergy*, 2014, created by Nur, SM, <Bioenerginusantara.com>.Pan, YG, Velo, E, Roca, X, Manyà, JJ & Puigjaner, L 2000, 'Fluidized-bed co-gasification of residual biomass/poor coal blends for fuel gas production', *Fuel*, vol. 79, no. 11, pp. 1317-26.
- Rasul, MG 2001, 'Spouted bed combustion of wood charcoal: performance comparison of three different designs', *Fuel*, vol. 80, no. 15, pp. 2189-91.
- Rizkiana, J, Guan, G, Widayatno, WB, Hao, X, Huang, W, Tsutsumi, A & Abudula, A 2014, 'Effect of biomass type on the performance of cogasification of low rank coal with biomass at relatively low temperatures', *Fuel*, vol. 134, no. 0, pp. 414-9.
- Ruhul Kabir, M & Kumar, A 2012, 'Comparison of the energy and environmental performances of nine biomass/coal co-firing pathways', *Bioresource Technology*, vol. 124, pp. 394-405.
- Shahrukh, H, Oyedun, AO, Kumar, A, Ghiasi, B, Kumar, L & Sokhansanj, S 2016, 'Comparative net energy ratio analysis of pellet produced from steam pretreated biomass from agricultural residues and energy crops', *Biomass and Bioenergy*, vol. 90, pp. 50-9.
- Sultana, A, Kumar, A & Harfield, D 2010, 'Development of agri-pellet production cost and optimum size', *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 14, pp. 5609-21.
- Tchapda, AH & Pisupati, SV 2014, 'A review of thermal co-conversion of coal and biomass/waste', *Energies*, vol. 7, pp. 1098-148.
- Uslu, A, Faaij, APC & Bergman, PCA 2008, 'Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation', *Energy*, vol. 33, no. 8, pp. 1206-23.
- Vinterbäck, J 2004, 'Pellets 2002: the first world conference on pellets', *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, no. 6, pp. 513-20.
- WAFI, NSA, LAU, HLN, LOH, SK, AZIZ, AA, RAHMAN, ZA & MAY, CY 2017, 'ACTIVATED CARBON FROM OIL PALM BIOMASS AS POTENTIAL ADSORBENT FOR PALM OIL MILL EFFLUENT TREATMENT', *JOURNAL OF OIL PALM RESEARCH*, vol. 29 (2), no. June 2017, pp. 278-90.
- Yi, Q, Qi, F, Cheng, G, Zhang, Y, Xiao, B, Hu, Z, Liu, S, Cai, H & Xu, S 2013, 'Thermogravimetric analysis of co-combustion of biomass and biochar', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 112, no. 3, pp. 1475-9.