

Studi Eksperimen Pengaruh Torrefaksi pada Karakteristik Bahan Bakar Padat dari Biomassa Residu Hutan

Tanti Utami Dewi ^{1*}, Priyambodo Nur Ardi Nugroho ^{1,2}

¹Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

² Department of Advanced Mechanical System Engineering,

Kumamoto University, Kurokami, 2-39-1, Kumamoto 860-8555, Japan

*E-mail: tanti.dewi@gmail.com

Abstrak

Torrefaksi saat ini menjadi salah satu metode konversi biomassa yang menarik karena kemampuannya sebagai salah satu pilihan energi terbarukan. Bahan bakar campuran batu bara dengan biomassa yang telah mengalami proses torrefaksi dipandang sebagai bahan bakar yang paling murah saat ini dan merupakan metode yang menjanjikan. Pemilihan bahan bakar biomassa berdasarkan karakteristiknya sangat diperlukan untuk memastikan agar proses pembakaran dapat tercapai dengan baik. Dua tipe residu biomassa dari hutan (tandan sawit kosong dan bambu) telah diteliti dengan berbagai suhu penahanan torrefaksi dan waktu penahanan torrefaksi yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan hubungan positif antara suhu dan waktu torrefaksi dengan kenaikan nilai kalor. Kadar air juga menurun bersamaan dengan semakin tingginya suhu dan makin lamanya waktu torrefaksi. *Mass yield* dan *energy yield* biomassa hasil proses torrefaksi juga telah dianalisis. Residu biomassa dari hutan yang telah melalui proses torrefaksi terbukti dapat menggantikan batu bara sebagai bahan bakar energi terbarukan.

Keywords: biomassa, kadar air, nilai kalor, torrefaksi.

1. PENDAHULUAN

Kehidupan manusia sehari-hari mulai dari aktivitas rumah tangga seperti memasak mencuci, menerangi ruangan, berkomunikasi, transportasi, sampai aktivitas lain seperti bisnis dan ekonomi semua membutuhkan energi. Ketersediaan energi serta kualitas energi telah menjadi salah satu indikator kesejahteraan manusia dewasa ini. Menurut Asif (2007), permintaan akan konsumsi energi diproyeksikan akan tumbuh jauh lebih besar daripada pertumbuhan penduduk. Dengan kondisi pertumbuhan ekonomi global saat ini, Tollefson (2012) meramalkan total permintaan energi akan meningkat dari sekitar 12 milyar ton setara minyak pada tahun 2009 menjadi 18 milyar ton setara minyak pada tahun 2035. Sebagai konsekuensi, sumber energi konvensional yang berasal dari fosil seperti batu bara, gas alam dan minyak bumi sangat penting karena bahan bakar

fosil saat ini menjadi bahan bakar utama di dunia. Penggunaan bahan bakar fosil terbukti menghasilkan emisi gas karbon dioksida yang secara signifikan berkontribusi pada meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer, menurut Walker (2011), kenaikan gas karbon dioksida bisa mencapai 43 Gt/tahun dari 29 Gt/tahun. Pemilihan sumber energi perlu agar ketersediaannya dapat berkelanjutan, dan tetap memperhatikan kondisi lingkungan.

Beberapa energi terbarukan dapat menggantikan atau mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, sesuai dengan kondisi alam dan geografi suatu negara. Energi terbarukan yang potensial itu antara lain energi surya, energi angin, energi air, dan biomassa. Selain kondisi alam, pemilihan bahan bakar pengganti juga perlu mempertimbangkan tentang netral karbon suatu bahan bakar. Netral karbon yang dimaksud adalah kemampuan

bahan bakar untuk menghasilkan jejak karbon bersih yang setara nol, artinya jumlah karbon dioksida yang dikeluarkan dalam pembakaran bahan bakar, sama jumlahnya dengan jumlah bahan bakar yang diserap dalam proses pembuatan bahan bakar. Menurut Moscicki (2014), sebagai salah satu sumber alternatif bahan bakar pengganti fosil, biomassa dianggap sebagai bahan bakar yang netral karbon karena selama pertumbuhan, biomassa menyerap karbon dioksida dalam proses fotosintesis dalam jumlah yang relatif sama dengan jumlah karbon dioksida yang dikeluarkan dalam proses pembakaran. Salah satu syarat yang harus dipenuhi agar biomassa dapat dikatakan sebagai netral karbon adalah jika biomassa dikembangkan, dipanen dan dikonsumsi secara berkelanjutan.

Biomassa pada kondisi asalnya mempunyai bentuk yang menyulitkan untuk ditangani, baik disimpan untuk kemudian digunakan maupun ditransportasikan dari satu tempat ke tempat yang berbeda. Permasalahan ini mendorong konversi biomassa menjadi bahan bakar atau bahan kimia yang berbentuk lain. Menurut Basu (2010), ada dua metode konversi biomassa yang utama, yaitu konversi biokimia dan konversi termokimia. Konversi biokimia menggunakan bakteri atau enzim yang akan mengubah biomassa menjadi molekul yang lebih kecil. Proses ini sangat lambat, namun tidak membutuhkan banyak energi dari luar. Contoh konversi biokimia yang utama adalah *anaerobic digestion*, *aerobic digestion*, fermentasi, serta hidrolisis enzimatik.

Konversi termokimia mengubah biomassa menjadi bahan bakar gas, cair atau padat, termasuk bahan kimia yang bisa langsung digunakan atau diolah kembali. Proses ini lebih cepat, namun membutuhkan banyak energi dari luar. Metode yang umum digunakan adalah

pembakaran (*combustion*), *pyrolysis*, *gasification*, dan *liquefaction*. Dalam pembakaran, biomassa dikonversi menjadi karbon dioksida dan uap menggunakan udara pada suhu reaksi yang tinggi. *Pyrolysis* dilakukan pada kondisi suhu yang relatif rendah dan tanpa oksigen. *Gasification* adalah proses kimia dalam kondisi kekurangan oksigen. Sedangkan *liquefaction* adalah proses pemecahan molekul biomassa menjadi molekul yang lebih kecil menggunakan katalis pada suhu rendah.

Metode konversi biomassa secara termokimia yang lain adalah torrefaksi. Basu (2013) menyatakan bahwa torrefaksi dipandang sebagai cara yang efektif dalam mengubah biomassa padat dengan bersih dan mudah. Pada proses ini, biomassa dipanaskan secara perlahan sampai suhu 200-300 °C tanpa atau dengan sedikit sekali oksigen di dalamnya. Metode ini membentuk ulang struktur kimia hidrokarbon biomassa dan meningkatkan kandungan karbon sambil mengurangi kandungan oksigen. Kandungan energi per satuan massa (*energy density*) biomassa meningkat secara berarti dan membuat biomassa bersifat higroskopis atau dengan kata lain cenderung untuk menyerap air dari lingkungan sekitar. Hasil akhir torrefaksi akan meningkatkan nilai ekonomis biomassa, baik dari sisi produksi energi atau transportasi. Keuntungan lain adalah naiknya *energy density*, ketahanan terhadap air dan kemampuan giling (*grindability*) dari biomassa.

Potensi biomassa yang berasal dari residu hutan di Indonesia sangat besar, bersama dengan Malaysia, Indonesia memproduksi lebih dari 90% minyak kelapa sawit dunia. Menurut Maitah (2016), Sebagai produsen utama minyak kelapa sawit, lebih dari 20 juta metrik ton sawit diproduksi, dan ditanam di lahan seluas 10 juta hektar. Kelapa sawit memproduksi jumlah biomassa yang besar, setiap 1 kg minyak kelapa sawit, kira-kira 4 kg biomassa kering ikut

diproduksi. Sepertiga dari total adalah tandan kosong, sedangkan sisanya adalah pelepah serta batang pohon sawit. Selain sawit, Indonesia juga menyimpan potensi biomassa yang berasal dari bambu. Bambu adalah salah satu tanaman yang paling cepat tumbuh dan dapat ditemukan di hampir seluruh wilayah Indonesia. Menurut Wang (2015) Indonesia menduduki peringkat ketiga di Asia setelah China dan India dengan luas area hutan bambu lebih dari 2 juta hektar.

Karakteristik unjuk kerja biofuel dapat ditentukan dari beberapa parameter, misalnya nilai kalor dan kandungan air. Nilai kalor (*heating value*) adalah jumlah kalor yang tersedia pada bahan bakar tertentu, yang menunjukkan jumlah total energi yang dapat digunakan. Ada dua macam cara untuk menentukan nilai kalor, yaitu nilai kalor atas (*High Heating Value*) dan nilai kalor bawah (*Low Heating Value*). Nilai kalor tinggi adalah jumlah kalor yang tersedia pada bahan bakar, termasuk memperhitungkan terlepasnya kembali panas laten uap air. Sementara nilai kalor rendah tidak memasukkan energi panas laten yang dilepaskan oleh terkondensasinya uap air tersebut ke dalam nilai kalor. Tiap jenis biofuel ternyata memiliki energi per unit massa yang berbeda, jika dibandingkan dengan yang lain. Beberapa lebih tinggi, sementara yang lain lebih rendah. Nilai kalor tergantung kepada kondisi lingkungan, cuaca, suhu, kesuburan tanah, kelembaban, dan lainnya. Sebagai konsekuensi, nilai kalor biasanya ditulis dalam kisaran suatu nilai, bukan satu angka tertentu.

Kandungan air adalah salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada unjuk kerja biofuel. Biomassa asalnya mengandung setengah, bahkan lebih air di dalamnya. Kandungan air yang tinggi tidak menguntungkan Karena biomassa akan mempunyai nilai kalor yang lebih rendah, akibat dari penggunaan energi untuk memanaskan dan menguapkan air

dari biomassa. Kandungan air yang optimum diperlukan, Karena kandungan air yang terlalu rendah juga harus dihindari, karena mudah terbakar selama penyimpanan, dan menyebabkan kerak pada peralatan pembakaran. Kandungan air dari biomassa dapat ditentukan dengan dua cara, yaitu berdasar kondisi kering dan kondisi basah. Pada perhitungan berdasar kondisi kering, kandungan air sebanding dengan massa air di dalam biomassa dibagi dengan porsi massa kering bahan bakar. Sedangkan pada perhitungan berdasar kondisi basah, kandungan air dihitung dengan membagi massa air dalam bahan bakar dengan total massa bahan bakar, termasuk kandungan air di dalamnya.

Tujuan utama penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh beberapa parameter torrefaksi, utamanya suhu penahanan (*holding temperature*) dan waktu penahanan (*holding time*) pada karakteristik residu biomassa dari hutan. Penekanan penelitian ada pada karakteristik bahan bakar yang utama, yaitu nilai kalor, kandungan air, *mass yield* dan *energy yield*.

2. METODOLOGI

Bahan Percobaan

Tandan sawit kosong dan bambu dipilih sebagai sumber biomassa dari hasil hutan dalam percobaan ini. Baik tandan sawit kosong dan bambu mempunyai potensi yang sangat besar untuk dikembangkan di Indonesia. Tandan sawit kosong telah mengalami proses pengeringan pada suhu 105 °C dengan menggunakan oven, sedangkan bambu diambil dari hutan bambu di sekitar laboratorium.

Alat Percobaan

Penelitian dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu percobaan torrefaksi dan pengukuran serta analisa sampel biomassa. Alat yang digunakan untuk percobaan torrefaksi antara lain tungku listrik yang ditunjukkan oleh Gambar

1(a), wadah dari baja tahan karat (*crucible*) ditunjukkan oleh Gambar 1(b), *thermocouple*, *data logger* dan gas nitrogen. Biomassa seberat sekitar 10 gram dimasukkan ke dalam *crucible*, setelah ditutup rapat gas nitrogen dialirkan ke dalam *crucible*. *Crucible* kemudian dimasukkan ke dalam tungku listrik yang telah diatur suhunya. Suhu di dalam *crucible*, di dalam ruang tungku, dan di dinding tungku kemudian dicatat setiap 5 menit sampai tercapai suhu torrefaksi yang diharapkan. Percobaan ini menggunakan dua faktor, yaitu faktor suhu torrefaksi dan waktu penahanan, dengan masing-masing tiga level variasi, yaitu suhu 210 °C, 240 °C, dan 270 °C, serta waktu penahanan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.



Gambar 1. (a) Tungku listrik dan (b) *crucible*

Pengukuran serta analisa sampel biomassa menggunakan timbangan, alat pengukur kalor (*bomb calorimeter*), serta alat pengukur kadar air (*moisture meter*). Kadar air biomassa sebelum dan sesudah torrefaksi diukur dengan Moisture Meter Shimadzu Model MOC63u yang ditunjukkan oleh Gambar 2(a), sedangkan nilai kalor biomassa diukur

dengan Shimadzu Auto- Calculating Bomb Calorimeter CA-4AJ, Gambar 2(b).



Gambar 2. (a) Moisture Meter dan (b) Bomb Calorimeter

3. HASIL DAN PEMBAHASAN Nilai Kalor Atas (HHV) dan Kadar Air

Nilai kalor atas (HHV) baik tandan sawit kosong dan bambu mengalami peningkatan dengan naiknya suhu torrefaksi (Tabel 1). Tandan sawit kosong memiliki nilai kalor atas 19.109 MJ/kg tanpa torrefaksi. Dengan torrefaksi pada suhu 210 °C, nilai kalor atas meningkat menjadi 21.448 MJ/kg pada waktu penahanan 30 menit, sedangkan kenaikan terbesar nilai kalor, yaitu 26.455 MJ/kg dicapai pada suhu 270 °C dan waktu penahanan 90 menit. Jika dibandingkan dengan tanpa torrefaksi, tandan sawit kosong mengalami kenaikan nilai kalor atas sebesar 14%, 22%, dan 35% pada suhu torrefaksi 210 °C, 240 °C, dan 270 °C. Lamanya waktu penahanan juga memberikan efek pada kenaikan nilai kalor atas, namun pengaruhnya lebih sedikit bila dibandingkan dengan suhu torrefaksi.

Bambu juga mengalami kenaikan nilai kalor atas setelah mengalami torrefaksi. Nilai kalor atas bambu tanpa torrefaksi adalah 17.553 MJ/kg, dengan torrefaksi pada suhu 210 °C, nilai kalor atas naik menjadi 19.756 MJ/kg dengan waktu penahanan 30 menit. Sedangkan kenaikan terbesar terjadi pada suhu torrefaksi 270 °C dan waktu penahanan 90 menit. Kenaikan

rata-rata nilai kalor atas bambu jika dibandingkan dengan tanpa torrefaksi adalah masing-masing sebesar 13%, 20% dan 26% pada suhu torrefaksi 210 °C, 240 °C, dan 270 °C. Pada suhu torrefaksi yang sama, lama waktu penahanan memberikan sedikit pengaruh terhadap peningkatan nilai kalor atas bambu hasil torrefaksi.

Jenis Biomassa	Suhu Torrefaksi (°C)	Waktu Penahanan (menit)	Nilai Kalor Atas (HHV) (MJ/kg)	Kadar Air (%)	
Tandan Sawit Kosong	Tanpa Torrefaksi	0	19.109	10.17	
		210	30	21.448	2.73
			60	21.445	2.91
	90		22.570	1.83	
	240	30	22.481	2.95	
		60	23.636	1.96	
		90	23.835	2.07	
	270	30	25.042	2.53	
		60	25.728	2.70	
		90	26.455	2.30	
	Bambu	Tanpa Torrefaksi	0	17.553	14.74
			210	30	19.756
60				19.957	1.87
90		19.989		2.18	
240		30	20.758	2.23	
		60	21.044	2.41	
		90	21.320	2.13	
270		30	21.520	2.20	
		60	22.273	2.18	
		90	22.344	1.92	

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nilai Kalor Atas dan Kadar Air

Torrefaksi terbukti membuat kadar air biomassa, baik tandan sawit kosong maupun bambu, mengalami penurunan yang cukup signifikan, yaitu 87% dan 88% bila dibandingkan dengan tanpa torrefaksi. Sebelum torrefaksi, 10.17% biomassa yang berasal dari tandan sawit kosong adalah berupa air, sedangkan bambu memiliki 14.74%, setelah

torrefaksi, rata-rata kadar air tandan sawit kosong adalah 2.442%, dan bambu sebesar 2.134%. Hasil analisis statistic menunjukkan bahwa suhu torrefaksi dan waktu penahanan memberikan pengaruh yang kurang signifikan terhadap kadar air. Data hasil eksperimen menunjukkan bahwa rata-rata kadar air antara suhu dan

waktu penahanan tidak jauh beda antara satu sama lain.

Mass Yield dan Energy Yield

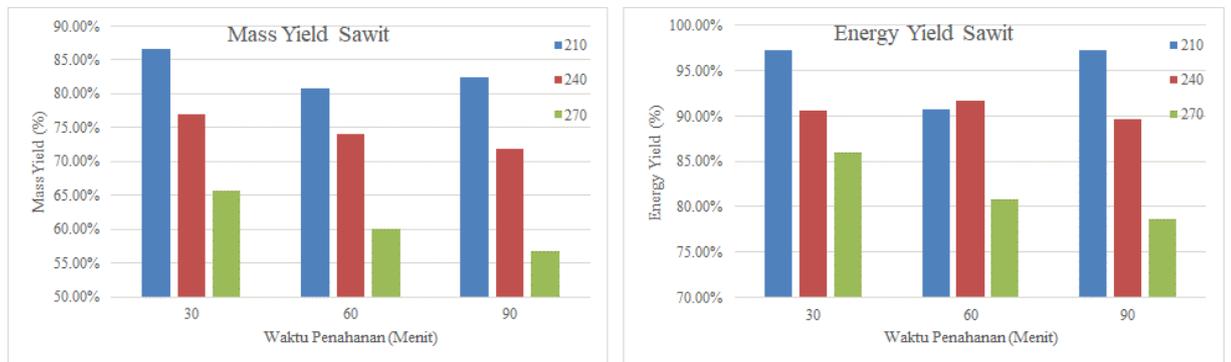
Perhitungan *mass yield* digunakan untuk mengevaluasi jumlah massa biomassa yang hilang selama proses torrefaksi. *Mass yield* didefinisikan sebagai jumlah biomassa yang tersisa setelah proses torrefaksi selesai. Persamaan untuk menghitung *mass yield* dapat dilihat pada persamaan (1)

$$\%MY = \frac{m_{akhir}}{m_{awal}} \cdot 100 \quad (1)$$

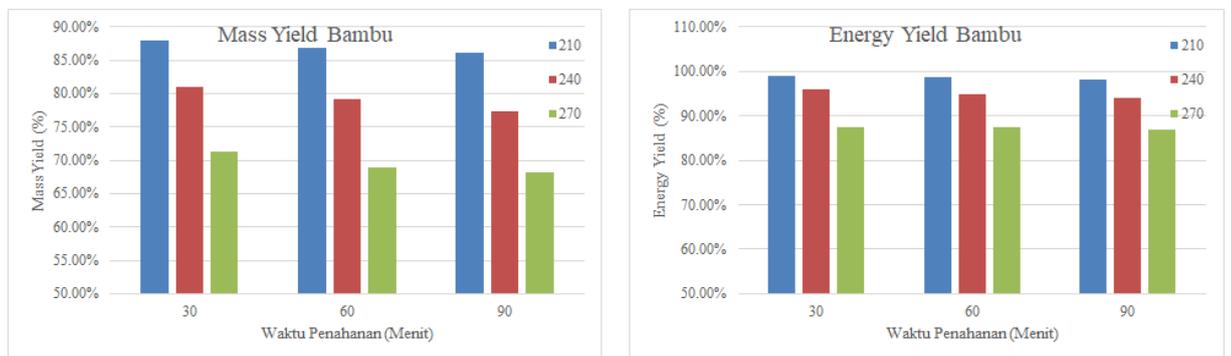
Dimana

m_{akhir} = massa biomassa setelah torrefaksi
 m_{awal} = massa biomassa sebelum torrefaksi

Mass yield tandan sawit kosong dan bambu dapat dilihat pada Gambar 3 (a) dan 4 (a). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa pengaruh suhu torrefaksi lebih besar bila dibandingkan waktu penahanan pada kedua biomassa tersebut. Dari tiga suhu torrefaksi yang dilakukan, yaitu 210 °C, 240 °C, dan 270 °C, nampak bahwa suhu torrefaksi terendah, yaitu 210 °C mempunyai *mass yield* paling tinggi dibandingkan suhu torrefaksi yang lain. Pada suhu torrefaksi 210 °C, *mass yield* tandan kosong sawit rata-rata sebesar 83.29%, sedangkan bambu sebesar 86.91%. Penambahan waktu penahanan berpengaruh pada penurunan *mass yield* tandan sawit kosong dan bambu. Penurunan ini tidak signifikan, bahkan pada tandan sawit kosong dengan 210 °C dan waktu penahanan 90 menit lebih tinggi daripada 60 menit.



Gambar 3. (a) *Mass Yield* dan (b) *Energy Yield* Tandan Sawit Kosong



Gambar 4. (a) *Mass Yield* dan (b) *Energy Yield* Bambu

Energy yield menunjukkan persentase jumlah energi awal biomassa sebelum torrefaksi yang tersisa setelah proses usai. *Energy yield* dapat diekspresikan dalam persamaan (2) berikut ini.

$$\%EY = MY \cdot \frac{HHV_{awal}}{HHV_{akhir}} \cdot 100 \quad (2)$$

Dimana

HHV_{awal} = Nilai kalor atas biomassa sebelum torrefaksi

HHV_{akhir} = Nilai kalor atas biomassa setelah torrefaksi

Gambar 3 (b) dan 4 (b) menunjukkan *energy yield* tandan sawit kosong dan bambu setelah proses torrefaksi. Analisis statistik menunjukkan bahwa *energy yield* lebih dipengaruhi oleh suhu torrefaksi daripada waktu penahanan. *Energy yield* terbesar didapat pada suhu torrefaksi 210 °C, yaitu 95.09% dan 98.53% pada tandan sawit kosong dan bambu, dan menurun pada setiap kenaikan suhu torrefaksi.

Baik tandan sawit kosong dan bambu mengalami tren yang identik pada *mass yield* dan *energy yield*. Namun dari Gambar 4 (b) terlihat bahwa pada bambu, selisih antara *mass yield* pada masing-masing suhu torrefaksi relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan tandan sawit kosong pada Gambar 3 (b). Fenomena ini dapat terjadi karena terkait dengan proses penguraian dari komponen utama biomassa selama proses torrefaksi, yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin, serta tahapan proses torrefaksi yang dialami oleh masing-masing biomassa. Menurut Sabil (2013), kandungan hemiselulosa di tandan sawit kosong sekitar 24%, sedangkan bambu sekitar 15%. Rendahnya persentase hemiselulosa pada bambu berpengaruh pada hasil akhir proses torrefaksi.

4. KESIMPULAN

Dari percobaan yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter torrefaksi pada karakteristik bahan bakar dari biomassa, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut.

- Hasil percobaan menunjukkan bahwa baik kenaikan temperatur torrefaksi dan penambahan waktu penahanan torrefaksi berpengaruh terhadap kenaikan nilai kalor bahan bakar biomassa.
- Biomassa yang sudah mengalami proses torrefaksi mengalami kenaikan nilai kalor seiring dengan naiknya temperatur torrefaksi. Sementara itu, *energy yield* dan *mass yield* berkurang seiring dengan penambahan temperatur torrefaksi.
- Bambu menunjukkan hasil *energy yield* setelah torrefaksi yang lebih tinggi, hal ini disebabkan sedikitnya biomassa yang terurai selama proses torrefaksi bila dibandingkan dengan tandan sawit kosong.

Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada penggunaan panas yang dihasilkan oleh gas buang boiler biomassa untuk proses torrefaksi. Rendahnya kadar oksigen pada gas buang juga menarik untuk diteliti lebih lanjut, misalnya mengetahui pengaruh kadar oksigen pada hasil torrefaksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asif, M., Muneer, T., (2007), "Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp.1388–413.
- [2] Tollefson, J., and Monastersky, R., (2012), "The global energy challenge

Awash with carbon”, *Nature*, Vol. 491, pp. 654-655

[3] Walker, R., (2011), “The Impact of Brazilian biofuel Production on Amazonia”, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 101, pp. 929-938

[4] Moscicki, K. J., Niedzwiecki, L., Owczarek, P., Wnukowski, M., (2014), “Commoditization of biomass: dry torrefaksi and pelletization a review”, *Journal of Power Technologies*, Vol. 94(4), pp.233-249

[5] Basu, P., (2010), “Biomass Gasification and Pyrolysis-Practical Design and Theory”, Academic Press, Elsevier, Oxford, UK

[6] Basu, P., (2013), “Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaksi”,

2nd edition, Academic Press, Elsevier, London, UK

[7] Maitah, M., Prochazka, P., Pachmann, A., Šréd, K., Řezbová, H., (2016), “Economics of Palm Oil Empty Fruit Bunches Bio Briquettes in Indonesia”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol 6 (1), pp. 35-38

[8] Wang, D. H., Chen, T. H., (2015), “Bamboo Resources and Carbon storage in Taiwan”, 10th World Bamboo Congress, Korea

[9] Sabil, K.M., Aziz, M.A., Lal, B., Uemura, Y., (2013), “Effects of torrefaksi on the physiochemical properties of oil palm empty fruit bunches, mesocarp fiber and kernel shell”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 56, pp. 351-360