

PEMBUATAN ARANG CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN PROSES TOREFAKSI

Preparation of Palm Kernel Shell Charcoal Using Torrefaction Method

Zainal Abidin Nasution dan Harry P. Limbong

Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan

Jln Sisingamangaraja no.24 Medan 20217, Provinsi Sumatera Utara

E – mail: zainal_an7@yahoo.com

ABSTRAK. Cangkang kelapa sawit merupakan biomassa yang terbentuk dari hasil fotosintesis butir-butir hijau daun, bekerja sebagai sel surya yang menyerap energi sinar matahari, kemudian mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi suatu material yang mengandung karbon, hidrogen dan oksigen. Material tersebut dalam bentuk padatan dan apabila dikonversi dapat menjadi arang cangkang kelapa sawit. Pada pelaksanaan penelitian ini, arang cangkang kelapa sawit dibuat dengan proses torefaksi cangkang kelapa sawit. Dari proses torefaksi cangkang kelapa sawit diperoleh rendemen pengarangan rata-rata adalah 38,20% (suhu terakhir proses torefaksi adalah 348^oC, pada saat cangkang kelapa sawit tidak lagi mengeluarkan asap dan waktu tinggal pengarangan adalah 105 menit). Dari hasil pengamatan temperatur dan waktu tinggal pengarangan cangkang kelapa sawit terhadap kondisi asap proses pengarangan cangkang sawit yang terjadi, sebagai indikator, diketahui bahwa proses pembentukan arang cangkang kelapa sawit mengikuti Grafik Tipikal Tahapan Pengarangan Biomassa Dengan Proses Torefaksi yang tertera pada Gambar 1, yaitu tahapan heating, tahapan drying, tahapan post drying, tahapan torrefaction dan tahapan cooling.

Kata kunci: cangkang kelapa sawit, torefaksi, arang cangkang kelapa sawit,

ABSTRACT. Palm kernel shells are biomass resulted from photosynthesis of chlorophylls, working as solar cells that absorb sunlight energy, then converting carbon dioxide with water into a material containing carbon, hydrogen and oxygen. The material is in solid form and can be converted into coconut shell charcoal. In the implementation of this research, coconut shell charcoal is made by coconut shell torrefaction process. From the process of coconut shell torrefaction, the average auction yield is 38.20% (the last temperature of the torrefaction process is 348^oC, when the oil palm shells no longer smoke and the residence time is 105 minutes). Observation on the temperature and the residence time of coconut shell restriction on the smoke condition of the resulted palm oil charcoal shaping that occurs, as an indicator, it is known that the palm oil charcoal shaping process follows the typical graph of biomass stages with torrefaction process shown in Figure 1 as followed: heating stage, drying stage, post-drying stage, torrefaction stage and cooling stage.

Keywords: palm kernel shells, torrefaction, palm kernel shells charcoal

PENDAHULUAN

Pada tahun 2015, luas lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia sudah mencapai 10.701.436 Ha, dengan rincian perkebunan kelapa sawit rakyat 4.810.271 Ha, perkebunan kelapa sawit milik BUMN 704.094 Ha dan perkebunan kelapa sawit swasta 5.207.071 Ha

(Statistik Perkebunan Indonesia, Kelapa Sawit 2013 – 2015, Ditjend Perkebunan, 2014).

Menurut Perdamaian (2008), basis satu ton tandan buah segar kelapa sawit akan menghasilkan 20% - 23 % Crude Palm Oil (CPO), dan 5 % - 7 % Palm Kernel Oil (PKO) dan sisanya berupa

limbah padat yaitu 20 % - 23 % tandan kosong kelapa sawit, 10 % - 12 % serat buah kelapa sawit dan 7 % - 9 % cangkang kelapa sawit.

Menurut Naibaho (1996), setiap Pabrik Kelapa Sawit (PKS) harus dilengkapi boiler sebagai pembangkit uap. Uap yang dihasilkan dari boiler tersebut digunakan untuk keperluan proses produksi, juga digunakan untuk memutar turbin uap sebagai pembangkit energi tenaga listrik, juga untuk menggerakkan mesin-mesin pengolahan CPO, penerangan di lingkungan PKS dan lainnya.

Bahan bakar yang digunakan untuk boiler tersebut adalah limbah padat buah kelapa sawit seperti yang tersebut diatas, yaitu serat buah kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Konsumsi bahan bakar untuk boiler dari PKS dengan kapasitas olah adalah 30 ton tandan buah segar per jam, adalah 3,8 ton/jam serat buah kelapa sawit dan 1,5 ton/jam cangkang kelapa sawit. Dari hasil proses produksi PKS dengan kapasitas 30 ton tandan buah segar per jam akan diperoleh limbah padat 3,0 ton/jam - 3,6 ton/jam serat buah sawit dan 2,1ton/jam - 2,7 ton/jam cangkang kelapa sawit. Kalau dirata-ratakan sekitar 3,3 ton/jam serat buah kelapa sawit dan 2,4 ton/jam cangkang kelapa sawit. Pemakaian serat buah kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler adalah maksimal, artinya semua serat buah kelapa sawit terpakai untuk bahan bakar boiler. Sedangkan konsumsi cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler adalah 1,5 ton/jam, yang mana sewaktu diumpankan ke dapur pembakaran boiler dilakukan bersamaan dengan serat buah kelapa sawit. Artinya masih lagi tersisa sekitar 0,9 ton/jam cangkang kelapa sawit. Apabila PKS dioperasikan selama 24 jam, maka akan diperoleh sekitar 21,6 ton/jam cangkang kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan.

Cangkang kelapa sawit adalah merupakan biomassa yang terbentuk dari hasil foto sintesis butir-butir hijau daun yang bekerja sebagai sel surya yang menyerap energi sinar matahari dan mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi suatu senyawa kimia yang terdiri atas karbon, hidrogen dan oksigen. Senyawa kimia tersebut dalam bentuk

padatan dapat dikonversi menjadi arang cangkang kelapa sawit.

Tabel 1. Karakteristik Kimia Cangkang Kelapa Sawit

| Sifat-sifat | Parameter | Nilai (%) |
|----------------------|------------------|-----------|
| | C (%) | 49,79 |
| | H (%) | 5,58 |
| Unsur Kimia | O (%) | 34,06 |
| | N (%) | 0,72 |
| | S (%) | < 0,08 |
| | Cl (ppm) | 89 |
| Karbohidrat Struktur | Hemiselulose (%) | 26,16 |
| | Selulose (%) | 6,92 |

Sumber: Ndoke in Okroigwe, 2014

Cangkang kelapa sawit baik digunakan sebagai bahan bakar ataupun arang karena memiliki bahan lignoselulosa yang tinggi. Kemudian mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari kayu, yaitu 1,4 gr/cm³.

Menurut Nur (2014), proses torefaksi merupakan proses pemanggangan/penyangaian bahan baku bioenergi (biomassa) dengan suhu yang terkendali dan tetap dikisaran suhu 220^oC sampai dengan 350^oC. Proses torefaksi ini membawa perubahan karakteristik struktur biomassa tersebut, menjadi arang yang keras dan ulet. Menurut Hardianto (2011), pada proses pirolisis produk yang dihasilkan dapat berupa gas, cairan dan padatan (arang). Proses pirolisis pada temperatur relatif rendah yang menghasilkan produk utama berupa padatan, dikenal dengan nama proses torefaksi. Menurut (Felfi dalam Azhar, 2009), menjelaskan bahwa torefaksi (*torrefaction*) adalah pengolahan secara termal terhadap biomassa pada suhu 230^oC sampai dengan 280^oC pada keadaan tanpa udara dan dalam waktu yang singkat. Menurut Azhar (2009), biomassa yang telah mengalami proses torefaksi akan memberikan beberapa keuntungan antara lain adalah kandungan airnya rendah, sedikit mengeluarkan asap dan nilai panasnya meningkat.

Usaha untuk meningkatkan nilai kalor biomassa agar bisa setara dengan batu bara salah satunya adalah dengan proses karbonisasi temperatur rendah atau disebut proses torefaksi. Karbonisasi atau pengarangan sudah dikenal cukup luas untuk proses pembuatan arang . Sementara torefaksi adalah suatu proses termokimia pada suhu 200^oC sampai

Tabel 2. Kisaran Suhu Untuk Puncak Degradasi Termal Dari Hemiselulosa, Selulosa dan Lignin

| No. — | Kisaran Suhu Degradasi (°C) | | | Sumber |
|-------|-----------------------------|----------|---------|--------------------------|
| | Hemiselulosa | Selulosa | Lignin | |
| 1. | 225-325 | 305-375 | 250-500 | Shafizadeh (1985) |
| 2. | 250-350 | 300-430 | 250-550 | Kaveendura et al (1998) |
| 3. | 200-400 | 275-400 | 250-400 | Sorum et al (2001) |
| 4. | 220-315 | 315-400 | 160-500 | Yay et al (2007) |
| 5. | 200-260 | 240-340 | 280-500 | Yokoyama (2008) |
| 6. | 227-327 | 327-407 | 127-447 | Giudicianni et al (2013) |

Sumber: Luo (2011)

dengan 320 °C tanpa adanya oksigen dan tekanan atmosfer dan laju pemanasan partikel yang rendah (lebih kecil dari 50 °C/menit) . Dengan metode torefaksi ini maka diharapkan akan memperbaiki karakteristik bahan bakar padat seperti peningkatan nilai kalor, menurunkan kadar air, *grind ability* dan memperbaiki sifat higroskopik (Bergman dalam Syamsiro, 2016).

Torefaksi digunakan sebagai langkah pengkondisian awal untuk metode konservasi biomassa seperti gasifikasi dan *co-firing*. Nama lain dari pada proses torefaksi adalah *roasting*, *slow-mild pyrolysis*, *wood cooking* dan *high temperature drying*. Perlakuan panas yang dilakukan tidak hanya mengubah struktur serat tetapi juga keuletan dari biomassa tersebut. Selama proses torefaksi, biomassa akan mengalami devolatisasi yang menyebabkan berat biomassa menjadi berkurang. Tetapi kandungan energi awal dari biomassa yang telah ditorefaksi tersebut tetap terjaga didalam produk padatannya, sehingga densitas energi dari biomassa menjadi lebih tinggi dibandingkan dari biomassa awal.

Proses torefaksi dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu :

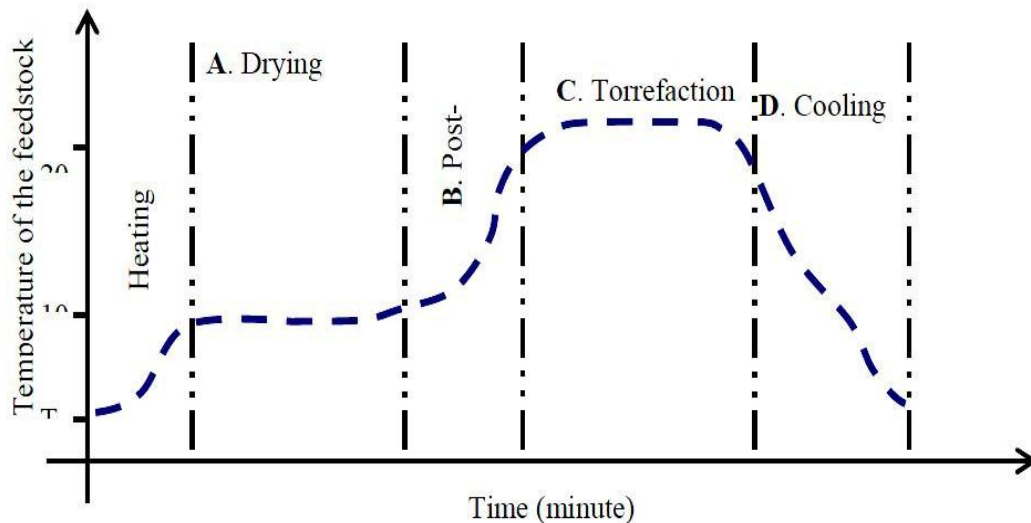
1. Pemanasan awal, yaitu biomassa dipanaskan sampai tahapan pengeringan tercapai, dimana air yang berada pada bagian luar biomassa mengalami penguapan.
2. Pengeringan, yaitu :
 - a. Pada temperature biomassa mendekati pengeringan awal (*pre-drying*), yaitu 100°C, air yang

dikandung oleh biomassa akan mulai menguap.

- b. Pada temperatur biomassa mendekati pengeringan akhir (*post-drying*, yaitu 200°C, kandungan air pada bagian dalam biomassa akan menguap akibat perpindahan kalor pada partikel biomassa tersebut.
3. Torefaksi, yaitu tahapan yang merupakan inti dari keseluruhan proses torefaksi. Proses torefaksi akan dimulai pada saat temperatur mencapai suhu 200°C, dan didefinisikan sebagai temperatur konstan maksimum. Disini material biomassa akan mengalami pengurangan berat.
4. Pendinginan, biomassa yang telah mencapai temperatur torefaksi, akan didinginkan menuju temperatur akhir, yaitu temperatur kamar.

Mekanisme dari torefaksi didasarkan kepada reaksi dari 3 komponen utama biomassa, yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin. Jika temperatur biomassa mencapai 200 °C, maka hemiselulosa akan mengalami devolatisasi secara terbatas dan pengarbonan (biomassa mulai berwarna kecoklatan). Jika devolatisasi dilanjutkan pada temperatur 250 °C sampai dengan 260 °C , maka lignin dan selulosa sedikit mengalami dekomposisi yang tidak menyebabkan kehilangan berat biomassa secara signifikan.

Perbedaan reaksi pada hemiselulosa, selulosa dan lignin yang menghasilkan 2 (dua) daerah torefaksi, yaitu :



Gambar 1. Grafik Tipikal Tahapan Pengarangan Biomassa Dengan Proses Torefaksi
 Sumber: Nhuchhen,(2014) dan Luo, (2011).

- a. Torefaksi ringan dengan temperatur dibawah 240°C dan ditandai oleh dekomposisi yang signifikan dari hemiselulosa.
- b. Torefaksi berat yang terjadi diatas temperatur 270°C yang ditandai dengan dekomposisi dari selulosa dan lignin.

(Sumber: Jupar, 2013)

Arang cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar padat didefinisikan sebagai bahan organik yang dapat digunakan untuk menghasilkan panas melalui proses pembakaran, maka tinggi – rendahnya temperatur hasil pembakarannya tergantung pada nilai kalori suatu tipe bahan bakar padat yang digunakan. Bahwa bahan bakar padat dengan nilai kalor lebih kecil dari nilai kalori kayu bakar (*wood fuels*) dapat dianggap sebagai bahan bakar padat berkalori rendah (*low-calorific value solid fuel*) dan sebaliknya untuk bahan bakar padat lebih besar dari nilai kalori kayu bakar dapat dianggap sebagai bahan bakar padat berkalori tinggi (*high-calorific value solid fuel*). Oleh karena itu untuk bahan bakar berkalori rendah perlu dilakukan suatu teknik pencampuran bahan bakar padat (*solid fuel blending technique*), yang dapat dilakukan untuk memperoleh bahan bakar padat

campuran dengan nilai kalori yang sesuai dengan spesifikasi nilai kalori dari bahan bakar padat rancangan yang diinginkan. Sedangkan metode pembakaran dari bahan bakar padat terbagi atas 2 (dua) tipe bahan bakar padat yang berbeda (*co-firing system*), yaitu 1. Hasil campuran dari beberapa jenis bahan bakar padat, yang dibakar secara bersamaan melalui satu saluran (*burner*) pada suatu tungku pembakaran (*furnace*); 2. Bahan bakar padat yang dibakar, terpisah melalui masing-masing saluran (*burner*) pada suatu tungku pembakaran (*furnace*) (Munir, 2008).

METODOLOGI PENELITIAN

a. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit yang diperoleh dari limbah PKS PTPN-2 Padang Brahrang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara.

b. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan arang cangkang kelapa sawit terdiri atas kuali besi, kompor, wadah-wadah penampung, sudip, thermometer dan timbangan,

c. Pembuatan Arang Cangkang Kelapa Sawit

Percobaan pembuatan arang cangkang kelapa sawit, dilakukan seperti yang tertera pada gambar dibawah ini, yaitu



Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan Arang Cangkang Kelapa Sawit Dengan Proses Torefaksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan pembersihan kotoran yang melekat pada cangkang kelapa sawit (tanah, pasir) diperoleh rendemen rata-rata adalah 95%. Dari torefaksi cangkang kelapa sawit diperoleh rendemen rata-rata adalah 38,20% (suhu terakhir torefaksi adalah 348^oC, pada saat cangkang kelapa sawit, tidak lagi mengeluarkan asap).

Hasil pengamatan temperatur dan waktu pengamatan terhadap kondisi asap yang keluar sebagai indikator proses pengarangan cangkang kelapa sawit dengan proses torefaksi diberikan di Tabel 3.

Berbeda caranya pengarangan cangkang kelapa sawit antara proses torefaksi dan pembakaran tertutup. Pengarangan cangkang kelapa sawit dengan proses torefaksi dilaksanakan di udara terbuka dan selama proses torefaksi tidak terjadi muncul api ataupun bara, ini dapat saja terjadi karena suhunya masih rendah (348^oC). Sedangkan pembakaran tertutup, cangkang kelapa sawit dibakar sehingga

menjadi bara. Oleh karena itu harus dilakukan pembakaran tertutup agar tidak terjadi oksidasi dengan O₂ dari udara, yang menyebabkan arang cangkang kelapa sawit dapat berubah menjadi abu.

Tabel 3. Temperatur dan Waktu Tinggal Arang Cangkang Kelapa Sawit Pada Proses Torefaksi Cangkang Kelapa Sawit

| No. | Waktu Pengamatan (menit ke-) | Suhu (°C) | Keadaan Cangkang Kelapa Sawit |
|-----|------------------------------|-----------|--|
| 1. | 0 | 32 | Normal |
| 2. | 5 | 44 | Normal |
| 3. | 10 | 95 | Mulai berasap |
| 4. | 15 | 95 | Asap tipis |
| 5. | 16 | 95 | Asap bertambah |
| 6. | 17 | 95 | Asap bertambah banyak |
| 7. | 18 | 95 | Mulai mengepul |
| 8. | 19 | 95 | Asap Mengepul |
| 9. | 21 | 114 | Asap Mengepul |
| 10. | 24 | 125 | Asap Mengepul |
| 11. | 27 | 156 | Asap Mengepul |
| 12. | 30 | 179 | Asap Mengepul |
| 13. | 32 | 202 | Asap Mengepul |
| 14. | 34 | 262 | Asap mulai menipis |
| 15. | 37 | 320 | Asap menipis |
| 16. | 45 | 348 | Asap habis |
| 17. | 105 | 32 | Arang Cangkang Kelapa Sawit Sudah Dingin |

Pada proses torefaksi cangkang kelapa sawit, sebagai biomassa yang mengandung lignoselulosa akan terdekomposisi berdasarkan senyawa penyusunnya. Menurut Jupar *et.al* (2013), proses torefaksi adalah proses termo kimia pada suhu 200^oC sampai dengan 320^oC tanpa adanya oksigen dan laju pemanasan partikel lebih kecil dari 50^oC/menit. Dari penelusuran literatur dapat diketahui bahwa setiap biomassa, mempunyai kandungan lignoselulosa yang berbeda satu dengan lainnya.

Dari Tabel 2, diketahui kisaran temperatur puncak degradasi termal dari hemiselulosa, selulosa dan lignin, berbeda satu dengan lainnya. Proses torefaksi adalah *roasting* (penyangraian) ataupun *slow-mild pyrolysis* (pirolisis lambat-ringan), Kalau dipilih pengertian proses torefaksi adalah penyangraian, maka untuk memudahkan pengamatan proses torefaksi, maka digunakan asap

yang terjadi pada proses pengarangan sebagai indikator untuk mengamati keadaan cangkang kelapa sawit yang sedang disangrai dengan mengukur temperatur cangkang kelapa sawit yang sedang disangrai dan menetapkan waktu tinggal cangkang kelapa sawit yang sedang disangrai, seperti hasilnya yang terlihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Grafik Tipikal Tahapan Pengarangan Biomassa Dengan Proses Torefaksi (Gambar 1) dan dari data-data Tabel 3, dengan asap yang terjadi dari proses torefaksi sebagai indikator untuk menentukan tahapan pengarangan yang terjadi pada proses torefaksi adalah seperti berikut :

- a. Tahapan *Heating* dari menit ke 0 sampai menit ke 3 dengan temperatur 32°C (temperatur kamar) sampai dengan temperatur 95°C ,
- b. Tahapan *Drying* dari menit ke 3 sampai menit ke 19 dengan temperatur 95°C sampai dengan temperatur 95°C ,
- c. Tahapan *Post Drying* dari menit ke 19 sampai menit ke 37 dengan temperatur 95°C sampai dengan temperatur 320°C ,
- d. Tahapan *Torrefaction* dari menit ke 37 sampai menit ke 45 dengan temperatur 320°C sampai dengan temperatur 348°C ,
- e. Tahapan *Cooling* dimulai dari menit ke 45 sampai menit ke 105 dengan temperatur 348°C sampai dengan temperatur 32°C (temperatur kamar).

Dari hasil percobaan pembuatan arang cangkang kelapa sawit dan berdasarkan pengamatan temperatur dan waktu tinggal ternyata proses pengerjaannya mengikuti Grafik Tipikal Tahapan Pengarangan Biomassa Dengan Proses Torefaksi

Pada proses torefaksi cangkang kelapa sawit, dimana arang cangkang kelapa sawit berhenti mengeluarkan asap pada suhu 348°C dan waktu proses pengarangan adalah 105 menit, dinyatakan pengarangan dengan proses torefaksi telah selesai dimana rendemen pengarangan rata-rata adalah 38,20 %. Menurut Nasution (2012), arang cangkang kelapa sawit hasil torefaksi (penyangraian), adalah merupakan bahan bakar padat berkalori rendah. Menurut Syamsuro *et.al* (2016), bahan bakar padat biomassa selalu mempunyai densitas

massa dan energi relatif rendah. Peningkatan kalori biomassa berkalori rendah dapat dilakukan dengan cara meningkatkan densitas dari biomassa tersebut dan melakukan proses torefaksi untuk meningkatkan nilai energi dari biomassatersebut.

SIMPULAN

Dari hasil percobaan pembuatan arang cangkang kelapa sawit dengan proses torefaksi cangkang kelapa sawit, dapat disimpulkan seperti berikut : Dari hasil percobaan pembuatan arang cangkang kelapa sawit dengan melakukan pengamatan terhadap temperatur cangkang kelapa sawit dan waktu tinggal cangkang kelapa sawit, dimana asap yang terjadi pada proses penyangraian adalah sebagai indikator keadaan cangkang kelapa sawit, ternyata proses pengerjaannya mengikuti Grafik Tipikal Tahapan Pengarangan Biomassa Dengan Proses Torefaksi, seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Pada proses pengarangan cangkang kelapa sawit, dimana arang cangkang kelapa sawit berhenti mengeluarkan asap pada suhu 348°C dan waktu pengarangan adalah 105 menit, dinyatakan proses pengarangan telah selesai dan mengikuti proses torefaksi, dimana rendemen pengarangan rata-rata adalah 38,20 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Apriyanti, S, Budiyanto dan Meizul Zuki, 2009, *Kajian Pemanfaatan Fraksi Berat Hasil Pirolisis Cangkang Sawit (Tar) Sebagai Bahan Perikat Dalam Proses Pembuatan Briket Arang Cangkang Sawit (Abstrak)*, diakses dari Internet tgl. 20 November 2016.
2. Azhar dan H Rustamaji, 2009, Bahan Bakar Padat Dari Biomassa Bambu Dengan Proses Torefaksi Dan Densifikasi, *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol.3 No.2, hal. 26 – 29.
3. Baserol Hissam, M F Bin, 2014, *Torrefaction Process :The Effect of Temperature and Residence Time to the Production of Torrefied Rubber Wood*, *Thesis*, Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Malaysia, Pahang.

4. Diputra, IPA, 2010, Studi Karakteristik Pembakaran Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Fluidized Bed Combustion , *Skripsi*, Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
5. Erikson, A-M, 2012, *Torrefaction and Gasification of Biomass, Thesis, Department of Chemical Engineering and Technology*, Division of Chemical Technology, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
6. Girard, JP, 1992, *Smoking in Technology of Meat and Med Product*, Ellis New York: Horword Limited.
7. Halim, MP, Darmadji, R Indrati, 2009, Fraksinasi dan Identifikasi Senyawa Volatil Asap Cair Cangkang Sawit, *Agritech*, Vol/23 No.3, hal. 117 – 123.
8. Haerdiantio, T A Suwono, A P Pasek dan Amrin, 2011, Balance Energi Pada Proses Torefaksi Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan Setara Batubara Untuk Memperhitungkan Kelayakannya, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin – X* ISBN 978-602-19028-0-6, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang.
9. Jupar P T, A, 2013, Analisa Pengaruh Metode Torefaksi Terhadap Kenaikan Nilai Kalor Biobriket Campuran 75 % Kulit Mete Dan Sekam Padi 25 % Dengan Persentase Berat, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
10. Luo, Xun, 2011, *Torrefaction of Biomass (A Comparative and Kinetic Study of Thermal Decomposition of Norway Spruce Stump, Poplala and Fuel Tree Chips)*, SLU, Swedish University of Agricultural Science, Departement of Energy and Technology, Uppasala.
11. Munir, S, 2008, Peran Sistim Klasifikasi Bahan Bakar Padat Konvensional Hubungannya Dengan Diversifikasi Energi, *Jurnal MIMBAR*, Vol.24 N9.1, hal. 69 - 78
12. Naibaho, PM, 1996, Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, *Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, Medan.
13. Nasution, Z A, 2012, Karakteristik Kimia Arang Cangkang Kelapa Sawit Yang Dihasilkan Dengan Metode Penyangraian Sebagai Bahan Pembuatan Biomasa, *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, Vol.7 No.1, hal, 1 – 7.
14. Nhuchhen, D R, P Peau and B Acharya, 2014, A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction, *International Journal of Renewable, International Journal of Renewable Energy and Biofuels*,
15. Nur, M Syukri, 2014, *Karakteristik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioenergi*, PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara, Bogor.
16. Okroigwe, EC, CM Saffran and PD Kamdem, 2014, Characterization of Palm Kernel Shells For Materials Reinforcement and Water Treatment, *Journal of Chemical Engineering and Material Science*.
17. Pardamean, M, 2008, *Panduan Lengkap Pengelolaan Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit*, Cetakan Pertama, Pustaka Agromedia, Jakarta.
18. Schorr, C, M Muinnonen and F Nurnimen, 2012, *Torrefaction of Biomass*, OSKE, Centre of Exprtise Programme.
19. Syamsiro, M, 2016, Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Densifikasi Dan Proses Torefaksi, *Jurnal Mekanik dan Sistem Termal*, Vol.1 No.1, hal. 7 – 13.
20. Vincent, S S, 2013, Investigation of Torrefaction Process Parameters on Biomass Feed-Stock and CO2 Gasification of Torrefied and Pyrolysed Bio-Char, *Thesis*, Department of Chemical and Petroleum Engineering, University of Calgary, Alberta.
21. Yokoyama, S, 2008, *The Asian Biomass Handbook : A Guide for Biomass Production and Utilization*, The Japan Institute Energy.