

## Kaji Eksperimental Produksi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Proses Hidrotermal

Achmad Rofi Irsyad<sup>a</sup>\*, Pandji Prawisudha<sup>b</sup> dan Ari Darmawan Pasek<sup>c</sup>

Lab Termodinamika, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung, Indonesia

email: achrofi@gmail.com, pandji@termo.pauir.itb.ac.id, ari@termo.pauir.itb.ac.id

### Abstrak

Tandan kosong kelapa sawit sebagai material terbarukan yang tidak termanfaatkan sebenarnya dapat digunakan sebagai bahan bakar padat, namun pemanfaatannya masih terhambat oleh ukuran yang besar, kandungan air yang tinggi dan tingginya kandungan potassium yang berpotensi menyebabkan di tungku.

Dalam penelitian ini, proses hidrotermal digunakan untuk meningkatkan kualitas tandan kosong kelapa sawit mendekati bahan bakar padat konvensional. Tandan kosong segar diproses di dalam reaktor hidrotermal berkapasitas 2,5 liter, yang diinjeksikan uap jenuh pada variasi temperatur 150 hingga 200 °C selama 30 menit. Pemisahan padatan dan cairan lalu dilakukan untuk mendapatkan balans massa potassium setelah proses. Komposisi fisik dan kandungan potassium yang tersisa di dalam padatan lalu diukur secara kuantitatif.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa proses hidrotermal menghasilkan produk padatan getas dan berbentuk bongkahan kecil serupa dengan biomassa yang telah mengalami karbonisasi. Persentase karbon tetap sebagai indikator kualitas bahan bakar padat ditemukan tertinggi pada tandan kosong yang mengalami proses pada temperatur 200 °C, sementara pengurangan potassium hingga 86,8 % didapatkan pada temperatur pemrosesan 150 °C. Kandungan zat terbang produk masih tinggi sehingga cocok dijadikan penyala awal tungku bahan bakar padat mengantikan minyak. Dapat disimpulkan bahwa kombinasi proses hidrotermal dan pemisahan padatan-cairan di temperatur yang optimal dapat menghasilkan bahan bakar padat terbarukan yang ramah lingkungan.

**Kata kunci** : proses hidrotermal, tandan kosong kelapa sawit, bahan bakar padat ramah lingkungan, pengurangan potassium

### 1. Pendahuluan

Pembangkitan listrik di dunia saat ini masih bergantung pada bahan bakar fosil. Dari data yang diambil British Petroleum tahun 2013 ditunjukkan bahwa bahan bakar fosil yang terdiri atas minyak, gas alam, dan batu bara masih mendominasi konsumsi energi dunia di angka 86,6 %, sementara di Indonesia konsumsi bahan bakar fosil jauh lebih besar di angka 96,5 % [1]

Untuk memenuhi kebutuhan ini Indonesia harus mengimpor minyak sebanyak 600 juta barel dari total kebutuhan dalam negeri sebesar 1.200 juta barel per tahun 2012 [2].

Juta ton ekivalen minyak	Minyak	Gas Alam	Batu bara	Energi Nuklir	Hidro	Terbarukan	Jumlah
Indonesia	73,8	34,6	54,4	-	3,5	2,3	168,7
Dunia	4185,1	3020,4	3826,7	563,2	855,8	279,3	12730,4
Keseluruhan							

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan kebijakan jangka panjang yaitu *Energy Mix 2030* yang bertujuan untuk memerlukan proses diversifikasi energi. Diperkirakan pada tahun 2025 konsumsi energi baru dan terbarukan mencapai 22% [3]. Untuk mendukung program pemerintah tersebut diperlukan riset mendalam di bidang energi baru dan terbarukan.

Salah satu potensi sumber energi terbarukan yang dimiliki Indonesia adalah biomassa. Indonesia sebagai negara agraris memiliki banyak lahan pertanian dan perkebunan. Limbah dari industri pengolahan produk pertanian dan perkebunan dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar biomassa. Salah satu limbah yang jumlahnya cukup besar berasal dari industri proses

Tabel 1: Konsumsi Energi Dunia Berdasarkan Sumber Energi [1]

kelapa sawit. Total luas lahan kelapa sawit di Indonesia seluas 10.010.824 ha pada tahun 2013 dan produksi minyak kelapa sawit diperkirakan mencapai 27.746.125 ton per tahun pada 2013 [4]

Proses sterilisasi, pengepresan, destilasi, dan pengeringan tandan buah segar kelapa sawit menghasilkan minyak kelapa sawit. Sementara limbah yang dihasilkan diantaranya tandan kosong, serabut, cangkang, minyak padat, dan lumpur.

Limbah padat yang saat ini telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat adalah serabut dan cangkang. Tandan kosong belum dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat karena ukurannya yang besar, kandungan air yang tinggi, dan banyaknya kandungan potassium yang berpotensi menyebabkan pembentukan kerak di tungku bahan bakar padat. Oleh karena itu diperlukan beberapa proses agar tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar padat konvensional.

## 2. Proses Hidrotermal

Haryadi [5] menjelaskan bahwa senyawa-senyawa yang mendominasi strukur kimia biomassa adalah selulosa (polimer C6), hemiselulosa, dan lignin. Ketiga polimer ini disebut lignoselulosa. Selulosa berfungsi sebagai kerangka, dalam bentuk mikrofibril. Hemiselulosa melapisi rantai panjang mikrofibril selulosa ini dalam bentuk matriks. Mikrofibril terikat dalam bentuk ikatan besar dengan lignin sebagai pengisi struktur, membentuk fibril. Selain itu biomassa juga mengandung senyawa ekstraktif yaitu senyawa-senyawa yang tidak membentuk struktur yang sebagian besar terlarut ke dalam air atau pelarut-pelarut organik. Selain itu biomassa juga mengandung abu.

Komposisi lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit terdiri atas 31,0 % db hemiselulosa, 39,2 % db selulosa, dan 20,0 % db lignin. Beberapa biomassa lain juga memiliki kandungan selulosa yang lebih banyak dari hemiselulosa dan lignin.

Tabel 3: Komposisi Lignoselulosa Biomassa [5]

No	Material	Hemiselulosa (% db)	Selulosa (% db)	Lignin (% db)
1	Kayu konifer	15-32	35-50	25-35
2	Kayo pohon berganti daun	15-35	40-50	18-25
3	TKKS	31,0	39,2	20,0
4	Batang	30,8	41,3	7,7

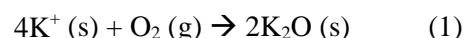
5	Rumput kenari merah	29,7	42,6	7,6
6	Willow	20,0	49,3	20,0
7	Gambut	4,9	44,7	48,9

Beberapa metode peningkatan kualitas biomassa ditujukan untuk melakukan dekomposisi struktur kimia baik hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Hasil yang diharapkan yaitu meningkatnya rasio atom C/O dan C/H sehingga akan didapatkan bahan bakar padat yang mendekati batubara kelas sub-bituminous.

Proses hidrotermal merupakan salah satu metode peningkatan kualitas biomassa dengan cara karbonisasi. Prinsip kerjanya yaitu merendam biomassa di dalam media air bertemperatur tinggi. Untuk menjaga air berada pada fasa cair proses ini dilakukan di tekanan tinggi di dalam reaktor *autoclave*. Temperatur reaktor dijaga konstan selama periode tertentu untuk mengatur tingkat reaksi dekomposisi [6].

Selama proses hidrotermal, biomassa akan menerima panas secara konduksi dari media air. Gugus hidroksil, karboksil, ester, dan eter yang berada didalam biomassa akan terurai sehingga rasio C/O dan C/H di padatan akan meningkat [7]. Produk hidrotermal akan mengalami degradasi secara fisik, menghasilkan butiran yang seragam dan berukuran lebih kecil [8]. Produk hidrotermal juga akan bersifat hidrofobik sehingga produk akan dengan mudah melepas ikatan atom H dan memiliki kandungan air setimbang yang stabil [9].

Dalam kasus peningkatan kualitas tandan kosong kelapa sawit salah satu kekurangan yang dimiliki adalah tingginya kandungan zat organik di dalamnya, salah satu yang merugikan yaitu potassium. Potassium yang berada di dalam biomassa akan bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa yang wujud fisiknya berupa kerak. Reaksi kimianya sebagai berikut



Kerak yang kerap muncul pada tungku mengakibatkan rentang waktu pemeliharaan dari tungku menjadi pendek dan biaya pemeliharaan tungku menjadi tinggi untuk menjaga performa dari tungku tersebut [10].

Salah satu metode untuk menghilangkan kandungan potassium yaitu dengan cara pencucian yang melibatkan air. Ion  $K^+$  akan cenderung lebih berikatan dengan ion  $OH^-$  yang ada pada air [8]. Reaksi kimianya sebagai berikut

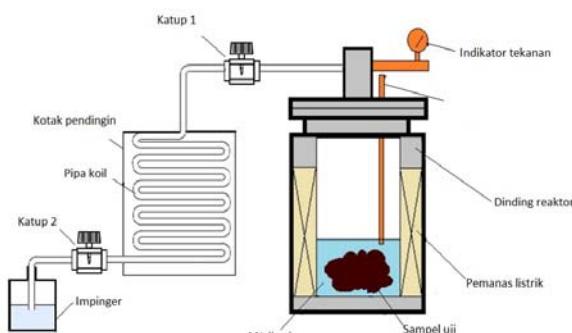


Dengan proses hidrotermal diharapkan reaksi (2) di atas akan lebih mudah terjadi, mengingat sel penyusun tandan kosong dirusak oleh temperatur tinggi dan ion  $K^+$  akan lebih mudah terbebas serta bereaksi dengan air.

### 3. Metodologi

Eksperimen yang dilakukan menggunakan sampel tandan kosong segar yang baru keluar dari proses pelepasan buah di industri pengolahan kelapa sawit di Jawa Barat. Sampel yang diambil dari memiliki kandungan air sebesar 65 % kemudian dipotong kecil-kecil hingga mencapai ukuran 1-2 cm sebelum disimpan di lemari pendingin. Dalam percobaan hidrotermal, sampel dengan massa 200 g dimasukkan ke dalam reaktor bersama media aquades dengan rasio sampel berbanding aquades sebesar 1 : 2,5. Media yang dipilih adalah aquades hasil destilasi untuk menghindari adanya unsur organik dari luar. Cara kerja reaktor dengan menyalakan pemanas listrik. Temperatur reaktor ditahan selama 30 menit setelah temperatur reaktor mencapai temperatur yang telah disetel di sistem kontrol.

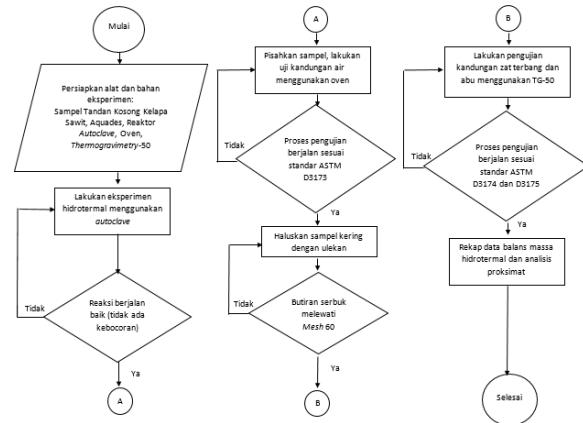
Temperatur proses hidrotermal divariasikan dari temperatur 150 °C, 175 °C, dan 200°C. Sebagian produk padatan lalu menjalani analisis proksimat dan uji kandungan potassium. Sebagian lainnya dipisahkan kandungan airnya, kemudian padatan dan hasil perasannya menjalani uji kandungan potassium. Kandungan potassium produk cairan juga diukur.



Gambar 1: Skema Hidrotermal pada Reaktor Autoclave

Analisis proksimat yang dilakukan menggunakan beberapa standar. Analisis kandungan air menggunakan oven temperatur konstan sesuai standar ASTM D3173, sementara analisis kandungan abu menggunakan ASTM D3174, dan analisis kandungan zat terbang menggunakan D3175. Analisis kandungan karbon

tetap menggunakan prinsip selisih sesuai dengan ASTM D3172. Analisis kandungan potassium menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS).



Gambar 2: Diagram Alir Eksperimen Hidrotermal dan Analisis Proksimat

Sampel padatan diambil dua bagian sejumlah 10 gram. Bagian pertama dilakukan pengujian kandungan air total menggunakan oven pada temperatur 105 °C. Bagian kedua dilakukan pengujian kandungan air permukaan dengan meletakkan sampel di dalam oven dengan temperatur 40 °C.

Sampel yang sudah bebas dari kandungan air selanjutnya dihancurkan menggunakan ulekan keramik. Sampel yang sudah hancur dipilah menggunakan saringan *mesh* ukuran 60. Setelah didapatkan padatan yang lolos dari *mesh*, dilakukan pengujian analisis proksimat menggunakan TG-50.

Sampel padatan yang tidak menjalani analisis proksimat dipisahkan menjadi padatan dan cairan dengan cara ditiriskan pada saringan. Selanjutnya dilakukan pengujian kandungan potassium menggunakan AAS pada sampel padatan yang sudah ditiriskan dan cairan hasil tirisan.

### 4. Hasil Eksperimen

Terdapat tiga produk dari hidrotermal yaitu padatan, cairan, dan kondensat. Pada gambar 1, sampel padatan di dalam reaktor akan menjadi produk padatan yang massanya meningkat karena menyerap aquades. Produk cairan merupakan cairan yang tertinggal di dalam reaktor sedangkan kondensat merupakan uap yang dikondensasikan oleh kotak pendingin dan ditampung di wadah *impinger*. Data balans massa pada proses hidrotermal ini sebagai berikut.

Tabel 4: Massa dan Volume Produk Hidrotermal

Sampel	Unit	RAW	200°C	175°C	150°C
--------	------	-----	-------	-------	-------

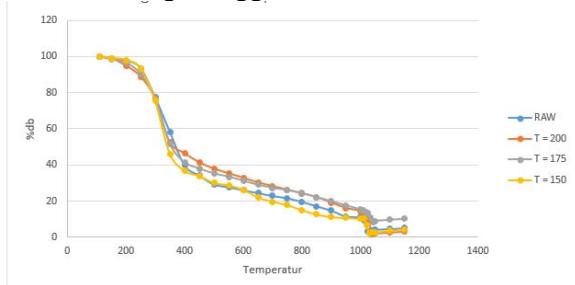
<b>Padatan</b>	gram	200	226	220	229
<b>Cairan</b>	ml	500	220	300	275
<b>Kondensat</b>	ml	-	134	113	118

Dari pengujian kandungan air didapatkan nilai kandungan air total dan permukaan dari padatan produk hidrotermal sebagai berikut.

Tabel 5: Kandungan Air Produk Hidrotermal

Sampel	Unit	RAW	200°C	175°C	150°C
<b>Kandungan Air</b>	% ar	63,0	83,0	78,0	81,0
<b>Permukaan</b>					
<b>Kandungan Air Total</b>	% ar	65,0	84,0	78,0	82,0
<b>Selisih</b>	% ar	2,0	1,0	0	1,0

Kurva penurunan massa pada proses analisis proksimat menggunakan TG-50 ditunjukkan pada gambar 3. Kurva tersebut menunjukkan kandungan zat terbang pada rentang 110-950 °C. Kandungan abu ditunjukkan oleh massa yang tersisa dari akhir proses pembakaran. Kandungan karbon dihitung menggunakan metode selisih.



Gambar 3: Kurva Penurunan Massa pada Analisis Proksimat Menggunakan TG-50

Dari kurva penurunan massa di atas, proses analisis proksimat dilanjutkan dengan menghitung komponen-komponen yang disimpulkan pada tabel di bawah.

Tabel 6: Hasil Analisis Proksimat Menggunakan TG-50

Komponen	Unit	RAW	200 °C	175 °C	150 °C
<b>Karbon Tetap</b>	% db	5,7	12,1	11,0	9,9
<b>Zat Terbang</b>	% db	90,9	86,4	86,7	87,0
<b>Kandungan Abu</b>	% db	3,4	1,5	2,3	3,1

Uji kandungan potassium dilakukan pada produk padatan yang sudah dipisahkan dari air dengan cara ditiriskan dan diperas melalui saringan. Sampel diambil untuk temperatur 200

°C dan 175 °C. Hasil dari AAS untuk tandan kosong kelapa sawit tanpa hidrotermal yaitu 0,543 % massa. Kandungan potassium pada produk hidrotermal ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 7: Kandungan Potassium pada Produk Hidrotermal dalam Persen Massa

Sampel		200 °C	175 °C	150 °C
<b>Cairan dalam Reaktor</b>	% massa	0,07	0,07	0,063
<b>Padatan Hasil Tirisan</b>	% massa	0,27	0,22	0,188
<b>Cairan Hasil Tirisan</b>	% massa	0,09	0,09	0,072
		3	1	

Pada bagian sebelumnya telah ditampilkan data analisis kandungan potassium. Presentase % fraksi massa tersebut dikonversikan ke massa agar dapat dilihat bagaimana pengurangan massa potassium setelah proses hidrotermal. Sampel tandan kosong kelapa sawit dengan massa 200 gram memiliki fraksi massa potassium sebesar 0,543 %, maka potassium pada sampel mentah memiliki massa 1,087 gram. Aquades diasumsikan telah bebas potassium sehingga massa potassium di aquades 0 gram. Massa potassium pada sampel dihitung dengan mengalikan presentase potassium yang terbaca dengan massa sampel. Asumsi untuk perhitungan ini yaitu semua padatan hasil hidrotermal ditiriskan hingga cairannya terpisah dengan perbandingan padatan tirisan dan cairan tirisan sebesar 1 : 2. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 8: Kandungan Potassium pada Produk Hidrotermal dalam Satuan Massa

Sampel	Unit	200°C	175°C	150°C
<b>Cairan dalam reaktor</b>	gram	0,169	0,213	0,173
<b>Padat tirisan</b>	gram	0,203	0,162	0,144
<b>Cair tirisan</b>	gram	0,140	0,133	0,110

## 5. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit setelah Proses Hidrotermal sebagai Bahan Bakar Padat

Parameter yang dijadikan sebagai acuan baik atau tidaknya sebuah bahan bakar padat adalah hasil analisis komposisi dan nilai kalornya. Kandungan yang biasanya menjadi pusat perhatian adalah kandungan air.

Kandungan air pada produk hidrotermal akan meningkat karena proses hidrotermal melibatkan air. Namun dapat dilihat bahwa selisih dari kandungan air total dengan kandungan air permukaan produk menjadi berkurang. Pada tandan kosong mentah selisihnya sebesar 2 % sedangkan pada produk hasil hidrotermal selisihnya sebesar 0 %.

Dari hasil ini dapat diperkirakan jika produk hidrotermal mengalami pengeringan alami maka hasilnya akan menjadi padatan yang hampir tidak memiliki kandungan air. Dapat dikatakan bahwa hipotesa awal mengenai sifat produk hidrotermal yang hidrofobik dan dapat mengurangi energi untuk menghilangkan kandungan air terbukti benar.

Dari pengolahan data hasil pengujian di TG-50 didapatkan bahwa jumlah kandungan karbon tetap pada tandan kosong kelapa sawit produk hidrotermal akan meningkat dan kandungan zat terbangnya akan menurun saat temperatur reaktor sama dengan 200 °C. Jumlah kandungan karbon tetap pada temperatur 200 °C meningkat sebesar 6,1 % basis kering. Kandungan abu tertinggi terjadi pada temperatur uji 150 °C.



Gambar 8: Grafik Kandungan Karbon, Zat Terbang, dan Abu pada Tandan Kosong Kelapa Sawit setelah Hidrotermal (%db)

Hasil dari analisis proksimat ini jika dibandingkan dengan komposisi batu bara sub-bituminous masih cukup jauh. Pada kondisi *dry ash-free*, batu bara sub-bituminous mengandung 45 % zat terbang dan 55 % kandungan karbon [12]. Pada kondisi temperatur hidrotermal 200 °C, kandungan zat terbang untuk kondisi *dry ash-free* sebesar 88% dan kandungan karbon-nya sebesar 12%. Jumlah zat terbang ini masih terhitung tinggi walaupun sudah berkurang dari tandan kosong kelapa sawit mentah sehingga produk hidrotermal ini belum layak untuk menjadi bahan bakar utama. Sifat pembakaran zat terbang yang tidak terpusat pada satu temperatur akan mengakibatkan panas yang diterima oleh tungku tidak maksimum. Pembangkitan panas yang terjadi di dalam tungku

tidak terpusat pada satu temperatur, seakan-akan pembakaran terjadi lebih dari satu kali.

Penggunaan lain yang bisa dilakukan yaitu menjadikan tandan kosong kelapa sawit produk hidrotermal menjadi bahan bakar sampingan batu bara (*co-firing*) atau bahan bakar yang digunakan sebagai penyala awal tungku menggantikan minyak.

## 6. Karakteristik Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan

Dari kedua pengolahan data di atas dapat disimpulkan bahwa pengurangan potassium dapat terjadi secara signifikan mencapai 86,8 %. Tandan kosong kelapa sawit yang telah melewati proses hidrotermal akan memiliki kecenderungan yang kecil untuk membentuk kerak di dalam tungku.

## 7. Kesimpulan

1. Tandan kosong kelapa sawit akan mengalami peningkatan karakteristik dari segi karakteristik dan nilai kalor dibandingkan tanpa proses hidrotermal, namun belum cukup baik jika dijadikan sebagai bahan bakar utama yang menggantikan batubara sub-bituminous. Kandungan zat terbang masih tinggi di produk hidrotermal.
2. Kandungan potassium pada padatan berkurang secara signifikan melalui proses hidrotermal, sehingga tandan kosong kelapa sawit yang telah melalui hidrotermal dapat dikatakan ramah lingkungan dengan mengurangi kecenderungan pembentukan kerak di dinding tungku.
3. Tandan kosong kelapa sawit yang telah di hidrotermal menjadi tepat guna jika digunakan sebagai bahan bakar samping yang bersih atau penyala awal pada tungku menggantikan minyak.

## Referensi

- [1] bp.com/statisticalreview. *BP Statistical Review of World Energy June 2014*.
- [2] <http://www.esdm.go.id/minyak-bumi/produksi-konsumsi-ekspor-impor.html>
- [3] Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional*.
- [4] [http://www.pertanian.go.id/Indikator/tabel\\_3-prod-Isreal-prodvitas-bun-pdf.pdf](http://www.pertanian.go.id/Indikator/tabel_3-prod-Isreal-prodvitas-bun-pdf.pdf). *Tabel Produksi, Luar Area, dan Produktivitas Kebun di Indonesia*
- [5] Haryadi. 2011. *Pengembangan Sistem Torefaksi untuk Meningkatkan Nilai Kalor*

*Gambut Sebagai Bahan Bakar Padat Setara Batubara.* Bandung: FTMD ITB.

- [6] Judy A Linra, Kyoung S Ro, Claudia Kammann, etc. 2011. *Hydrothermal Carbonization of Biomass Residuals: A Comparative Review Of The Chemistry, Processes and Applications Of Wet and Dry Pyrolysis.* Jerman: Future Science Group.
- [7] Masaru Watanabe, Taku M. Aida, Richard Lee Smith. 2014. *Review of Biomass Conversion in High Temperature Water Including Recent Experimental Results (Isomerization and Carbonization).* Tohoku: Tohoku University.
- [8] Pandji Prawisudha, Tomoaki Namioka, Kunio Yoshikawa. 2012. *Coal Alternative Fuel Production From Municipal Solid Wastes Employing Hydrothermal Treatment.* Yokohama: Tokyo Institute of Technology.
- [9] Charles J. Coronella, Koan G. Lynam, M. Toufiq Reza, M. Helal Udin. 2014. *Hydrothermal Carbonization of Lignocellulosic Biomass.* Nevada: University of Nevada.
- [10] E. Eliasson, P. L. Hooey, H. Annersten, B. Lindblom. *Formation of Potassium Slag in Olivine Fluxed Blast Furnace Pellets.*
- [11] Nurhayati Abdullah, Fauziah Sulaiman. 2013. *The Properties of the Washed Empty Fruit Bunch of Oil Palm.* Journal of Physical Sciences, Vol. 24(2), 117-137.
- [12] Gary L. Borman, Kenneth W. Ragland. 1998. *Combustion Engineering.* Singapore: McGraw-Hill International Edition.