

## Karakteristik Pembakaran Biomassa Sawit sebagai Alternatif Penghasil Energi Panas dengan Menggunakan *Fluidized Bed Combustor*

Mahidin\*, Hisbullah, Oktari Taka, Muhammad Irsyadul Afkar  
Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala  
\*Email: mahidin@unsyiah.ac.id

### Abstract

*One of the technology that can be utilized to meet the energy demands is biomass combustion. In this study, the biomass sources is from part of the palm oil such as empty fruit bunches, palm oil fiber, palm oil fronds, and palm oil shell. This research was conducted using a fluidized bed combustor (FBC) tool, which aims to observe the characteristics of the combustion process on FBC devices. The characteristics observed in this study were the combustion temperature profile, flue gas composition, and the composition of the ash deposit chemical compound. The results obtained from this study are the best combustion temperature profile which is in the condition of combustion of 2 kg biomass with 1,25 m<sup>3</sup>/minute velocity of air and the maximum combustion temperature obtained in the condition of combustion with a mass of 3 kg biomass with 1,25 m<sup>3</sup>/minute velocity of air. The best combustion conditions occur when the ammount of biomass is 3 kg and with 1,25 m<sup>3</sup>/minute velocity of air with the least amount of O<sub>2</sub> and the highest amount of CO<sub>2</sub> respectively 0.2 % and 19.9 %. The highest combustion efficiency in the FBC device is when burning 1 kg of biomass with 0,625 m<sup>3</sup>/minute velocity of air in the 4th minute which is equal to 94.9%.*

*Keywords: Palm oil biomass, fluidized bed combustor, combustion characteristic, flue gas, ash deposit*

### Abstrak

*Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi adalah teknologi pembakaran biomassa. Dalam studi ini, biomassa yang digunakan adalah tandan kosong, serat/serabut, pelepah, dan cangkang sawit. Penelitian ini dilakukan melalui pembakaran langsung menggunakan alat fluidized bed combustor (FBC), yang bertujuan untuk mengamati karakteristik proses pembakarannya. Karakteristik yang diamati pada penelitian ini adalah profil temperatur pembakaran, komposisi flue gas, dan komposisi kimia ash deposit. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa profil temperatur pembakaran yang paling baik adalah pada kondisi massa biomassa 2 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit dan temperatur pembakaran maksimum diperoleh pada kondisi massa biomassa 3 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit. Kondisi pembakaran yang terjadi paling baik adalah ketika pembakaran biomassa 3 kg dan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit dengan jumlah O<sub>2</sub> paling sedikit dan jumlah CO<sub>2</sub> terbanyak masing-masing 0,2 % dan 19,9 %. Efisiensi pembakaran tertinggi terjadi ketika pembakaran biomassa 1 kg dengan laju alir udara 0,625 m<sup>3</sup>/menit pada menit ke-4 yaitu sebesar 94,9 %.*

*Kata kunci: Ash deposit, biomassa sawit, flue gas, fluidized bed combustor, karakteristik pembakaran*

### 1. Pendahuluan

Kecenderungan menipisnya sumber daya energi menjadi fokus menarik dalam studi ilmiah akhir-akhir ini. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan terhadap energi dan semakin menipisnya sumber energi yang tersedia serta kurangnya alternatif untuk mengurangi kebutuhan terhadap energi tersebut. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) seperti biomassa [1]. Salah satu biomassa yang jumlahnya melimpah saat ini adalah berasal dari kelapa sawit. Limbah biomassa yang dihasilkan berupa serat, cangkang, tandan kosong, dan pelepah sawit memiliki peluang yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi yang ramah lingkungan [2].

Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi krisis sumber energi ini adalah teknologi pembakaran biomassa. Sistem pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sering digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi sumber energi untuk memperoleh panas dan energi listrik. *Fluidized Bed Combustor* (FBC) merupakan salah satu alat yang sering digunakan untuk pembakaran biomassa dikarenakan sistem pengoperasiannya lebih mudah. Fluidisasi dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana hamparan zat padat diberlakukan seperti fluida yang ada dalam keadaan berhubungan dengan gas atau cairan [3].

### 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan alat FBC sebagai tempat terjadinya proses pembakaran dan blower sebagai penyuplai udara. Penelitian ini dilakukan secara faktorial terhadap dua variabel berubah (massa

umpan dan suplai udara) untuk melihat efek perubahan kedua variabel tersebut terhadap karakteristik pembakaran. Kondisi optimum yang didapat dari hasil eksperimen selanjutnya diadopsi sebagai kondisi desain. Umpan atau bahan bakar yang terdiri dari campuran tandan kosong, pelepah sawit, serabut/serat sawit, dan cangkang sawit ditimbang beratnya dan dicampur dengan rasio biomassa (35:30:20:15) untuk sekali pengujian dengan sekali loading tanpa *inter-fuel feeding*.

### 2.1 Analisa Parameter Uji

Pengukuran profil temperatur pembakaran di ruang bakar dilakukan dengan menggunakan thermocouple. Analisa komposisi flue gas dilakukan dengan menggunakan alat DWYER 1207A, sedangkan kandungan ash deposit dianalisa dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*.

### 2.2 Analisa Data Hasil Pengukuran

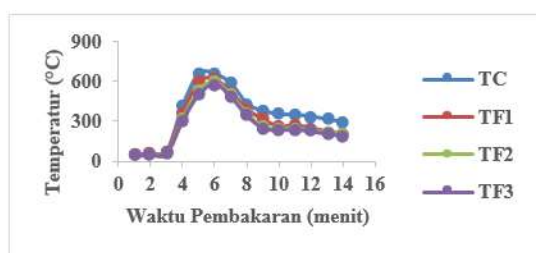
Pada penelitian ini, data yang diambil pada pengukuran temperatur pembakaran maupun analisa komposisi *flue gas* dilakukan dalam selang waktu selama 1 menit, dengan variasi massa umpan biomassa 1, 2, dan 3 kg dan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit, 0,9375 m<sup>3</sup>/menit, dan 0,625 m<sup>3</sup>/menit. Data yang telah diperoleh langsung diplot ke dalam grafik untuk masing-masing variabel respon yaitu profil temperatur pembakaran, komposisi *flue gas*, dan efisiensi pembakaran. *Ash deposit* yang dihasilkan dari hasil pembakaran biomassa sawit dianalisa untuk diketahui komposisi senyawa kimianya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Profil Temperatur Pembakaran

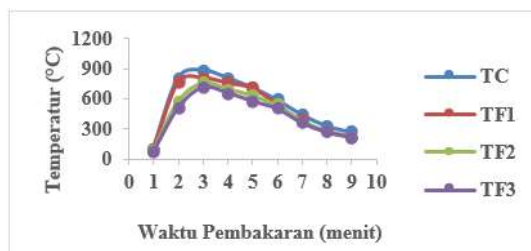
#### 3.1.1 Massa Biomassa 1 kg

Pada Gambar 1 dapat dilihat profil temperaturnya dimana di awal pembakaran kenaikan temperatur sangat cepat sehingga temperatur maksimum lebih cepat tercapai, yaitu pada saat pembakaran baru berlangsung 3 menit.

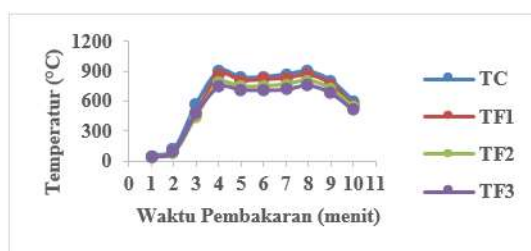


**Gambar 1. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 1 kg dan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit**

Cepatnya tercapai temperatur maksimum diprediksikan karena rendahnya kandungan air yang terdapat pada biomassa dan sebagian besar volatil yang terkandung dalam biomassa menguap dan terbakar di awal pembakaran [4].



**Gambar 2. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 1 kg dan laju alir udara 0,9375 m<sup>3</sup>/menit**

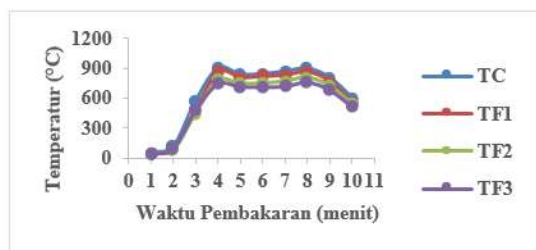


**Gambar 3. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 1 kg dan laju alir udara 0,625 m<sup>3</sup>/menit**

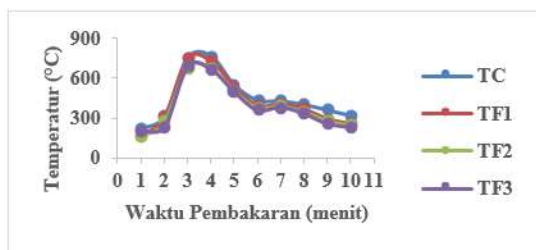
Pada Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat profil temperaturnya dimana diawal pembakaran kenaikan temperaturnya lambat sehingga temperatur maksimum juga lama tercapai, yaitu pada saat pembakaran berlangsung 4 menit dan 5 menit. Berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 1, 2, dan 3 bahwa kenaikan temperatur diawal pembakaran berbeda. Ini dikarenakan pengaruh dari berbedanya penyusunan bahan bakar antara kondisi laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit dengan laju alir udara 0,9375 m<sup>3</sup>/menit dan 0,625 m<sup>3</sup>/menit pada ruang bakar (*combustor*). Titik yang diukur; TC (*Temperature Combustor*), TF1 (*Temperature Freeboard 1*), TF2 (*Temperature Freeboard 2*), dan TF3 (*Temperature Freeboard 3*).

#### 3.1.2 Massa Biomassa 2 kg

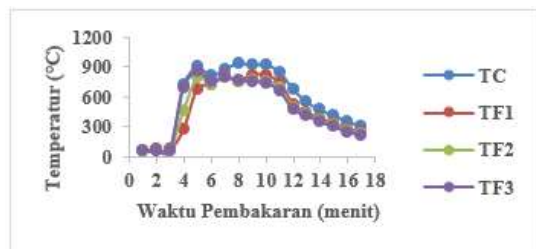
Pada Gambar 4 dan 6 dapat dilihat profil temperaturnya dimana diawal pembakaran kenaikan temperaturnya lambat sehingga temperatur maksimum juga lama tercapai, yaitu pada saat pembakaran berlangsung 4 menit dan 7 menit. Pada Gambar 5 dapat dilihat profil temperaturnya dimana diawal pembakaran kenaikan temperatur sangat cepat sehingga temperatur maksimum lebih cepat tercapai, yaitu pada saat pembakaran baru berlangsung 2 menit.



Gambar 4. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 2 kg dan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit



Gambar 5. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 2 kg dan laju alir udara 0,9375 m<sup>3</sup>/menit

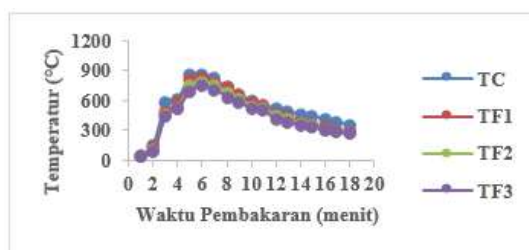


Gambar 6. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 2 kg dan laju alir udara 0,625 m<sup>3</sup>/menit

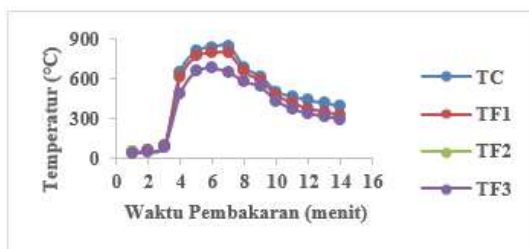
### 3.1.3 Massa Biomassa 3 kg

Cepatnya tercapai temperatur maksimum diprediksikan karena rendahnya kandungan air yang terdapat pada biomassa dan sebagian besar volatil yang terkandung dalam biomassa menguap dan terbakar di awal pembakaran [4]. Berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 4, 5, dan 6 bahwa kenaikan temperatur diawal pembakaran berbeda. Ini dikarenakan pengaruh dari berbedanya penyusunan bahan bakar pada ruang bakar (*combustor*) antara kondisi laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit, 0,9375 m<sup>3</sup>/menit dan 0,625 m<sup>3</sup>/menit.

Berdasarkan dari ketiga gambar di atas dapat dilihat perbedaan profil temperatur dan perbedaan kecepatan laju pembakarannya. Pada Gambar 7 dan 9 dapat dilihat profil temperaturnya, dimana diawal pembakaran kenaikan temperaturnya lambat sehingga temperatur maksimum juga lama tercapai, yaitu pada saat pembakaran berlangsung 8 menit dan 16 menit.

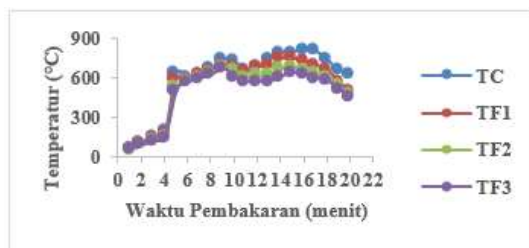


Gambar 7. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 3 kg dan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit



Gambar 8. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 3 kg dan laju alir udara 0,9375 m<sup>3</sup>/menit

Pada Gambar 8 dapat dilihat profil temperaturnya, dimana diawal pembakaran kenaikan temperaturnya cepat sehingga temperatur maksimum juga cepat tercapai, yaitu pada saat pembakaran berlangsung 5 menit.



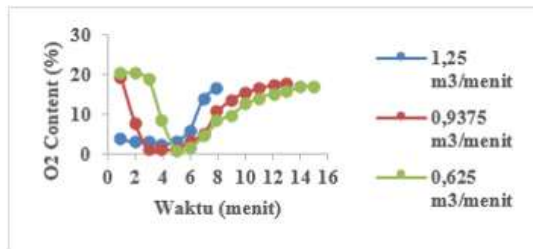
Gambar 9. Profil temperatur pembakaran biomassa sawit pada *Fluidized Bed Combustor* dengan massa 3 kg dan laju alir udara 0,625 m<sup>3</sup>/menit

Cepatnya tercapai temperatur maksimum diprediksikan karena rendahnya kandungan air yang terdapat pada biomassa dan sebagian besar volatil yang terkandung dalam biomassa menguap dan terbakar di awal pembakaran [4]. Berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 7, 8, dan 9 bahwa kenaikan temperatur diawal pembakaran berbeda. Ini dikarenakan pengaruh dari berbedanya penyusunan bahan bakar pada ruang bakar (*combustor*) antara kondisi laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit, dengan laju alir udara 0,9375 m<sup>3</sup>/menit dan 0,625 m<sup>3</sup>/menit. Volatilitas dari setiap biomassa berbeda, sehingga perbedaan penyusunan bahan bakar pada ruang bakar sangat mempengaruhi cepat atau lambatnya kenaikan temperatur diawal pembakaran. Profil temperatur dikatakan baik atau bagus apabila laju pembakaran yang dihasilkan stabil dan panas yang dihasilkan tinggi. Jika hasil ini dibandingkan antar perbedaan

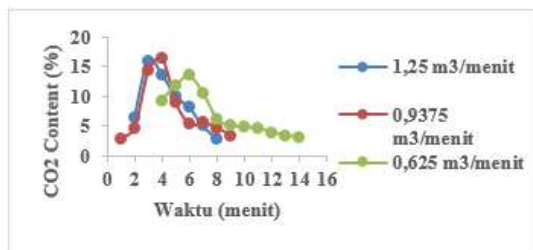
massanya maka didapat profil temperatur yang paling baik adalah pada massa biomassa sawit sebanyak 2 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit dikarenakan laju pembakarannya paling stabil.

### 3.2 Komposisi Flue Gas Pembakaran

Berdasarkan Gambar 10, 12 dan 14 dapat dilihat bahwa jumlah O<sub>2</sub> yang terdapat pada *flue gas* mengalami kecenderungan yang hampir sama disetiap variasi aliran udara dan biomassa yaitu mengalami penurunan di pertengahan proses dan kembali meningkat di akhir proses pembakaran. Hal ini dikarenakan, diawal pembakaran udara yang disuplai belum bereaksi dengan baik dengan biomassa yang ada sehingga masih banyak O<sub>2</sub> yang terbaca pada alat analisa *flue gas* di tempat keluaran gas. Berbeda halnya dengan O<sub>2</sub>, jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada proses pembakaran mengalami kecenderungan yang berbanding terbalik dengan jumlah O<sub>2</sub> yaitu berjumlah banyak di pertengahan proses pembakaran dan menurun kembali di akhir proses pembakaran. Gas karbon dioksida yang terbentuk mengindikasikan bahwa unsur kimia karbon pada biomassa sawit dapat teroksidasi dengan baik [5].



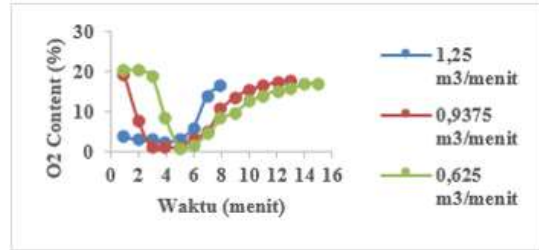
Gambar 10. Pengaruh excess air terhadap produk O<sub>2</sub> yang dihasilkan pada biomassa 1 kg



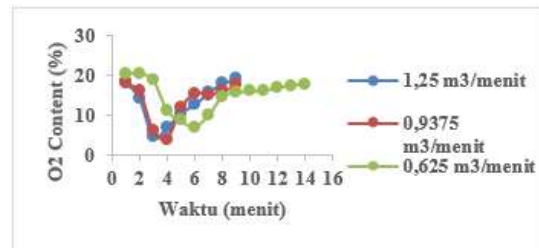
Gambar 11. Pengaruh excess air terhadap produk CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada biomassa 1 kg

Pada Gambar 11, 13 dan 15 dapat dilihat jumlah produk CO<sub>2</sub> yang terdapat pada *flue gas* mengalami kecenderungan yang hampir sama disetiap variasi aliran udara dan biomassa yaitu mengalami peningkatan di pertengahan proses pembakaran dan penurunan di akhir proses pembakaran. Dari ketiga variasi massa biomassa yaitu 1, 2, dan 3 kg yang digunakan sebagai umpan proses pembakaran dapat dilihat bahwa kecenderungan yang dihasilkan oleh proses pembakaran pada alat FBC hampir sama untuk setiap komponen flue gas yang terbaca. Dimana grafik yang dihasilkan menggambarkan

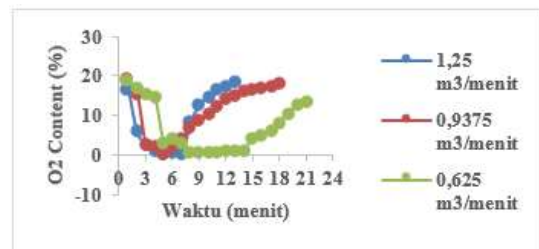
proses pembakaran terjadi secara baik. Pada hasil flue gas, CO<sub>2</sub> yang meningkat ini mengindikasikan bahwa reaksi unsur karbon (C) yang terjadi dalam pembakaran berlangsung dengan baik, sehingga potensi kerugian karbon yang tidak dapat terbakar (unburned carbon) dapat diminimalisir akibat dari penambahan sejumlah nilai excess air.



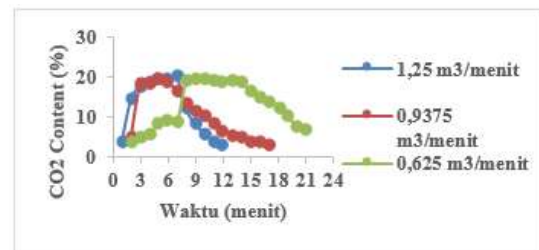
Gambar 12. Pengaruh excess air terhadap produk O<sub>2</sub> yang dihasilkan pada biomassa 2 kg



Gambar 13. Pengaruh excess air terhadap produk CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada biomassa 2 kg



Gambar 14. Pengaruh excess air terhadap produk O<sub>2</sub> yang dihasilkan pada biomassa 3 kg



Gambar 15. Pengaruh excess air terhadap produk CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada biomassa 3 kg

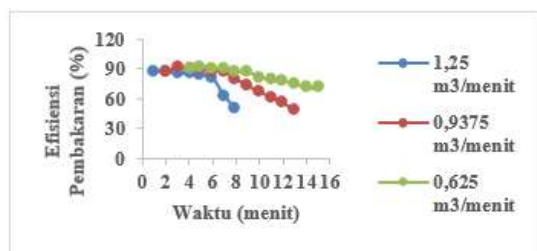
Dari ketiga variasi massa biomassa dan variasi laju aliran udara juga dapat dilihat bahwa kondisi proses pembakaran yang terjadi paling baik untuk alat FBC yaitu ketika massa biomassa 3 kg dan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit dengan komposisi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> pada produk flue gas masing-masing bernilai 0,2 % dan 19,9 %. Hal ini menggambarkan bahwa reaksi antara biomassa dan udara yang disuplai berlangsung baik



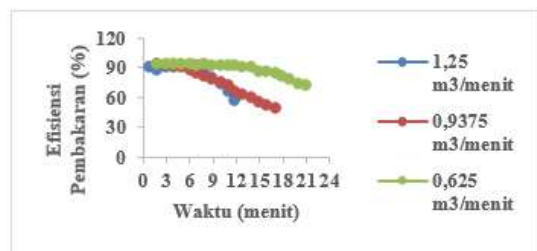
sehingga O<sub>2</sub> yang terkandung dalam flue gas sedikit dan CO<sub>2</sub> berjumlah banyak. Besarnya nilai CO<sub>2</sub> menunjukkan homogenitas percampuran udara dan bahan bakar serta efisiensi pembakaran suatu alat.

### 3.3 Efisiensi Pembakaran

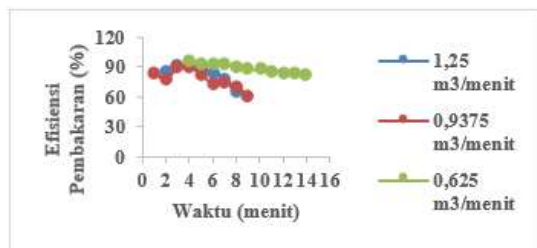
Efisiensi pembakaran dapat dinyatakan dengan efisiensi termal, efisiensi karbon, atau efisiensi hidrogen terkonversi. Efisiensi termal adalah perbandingan antara jumlah panas dalam gas hasil pembakaran terhadap jumlah kalor bahan bakar [6].



Gambar 16. Pengaruh excess air terhadap efisiensi pembakaran pada FBC dengan massa biomassa 1 kg



Gambar 17. Pengaruh excess air terhadap efisiensi pembakaran pada FBC dengan massa biomassa 2 kg



Gambar 18. Pengaruh excess air terhadap efisiensi pembakaran pada FBC dengan massa biomassa 3 kg

Berdasarkan Gambar 16, 17 dan 18 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi maksimum didapat ketika pembakaran biomassa 1 kg dengan aliran udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit pada menit ke-4 yaitu sebesar 94,9 %. Sedangkan nilai efisiensi minimum diperoleh pada proses pembakaran biomassa 3 kg dengan aliran udara 0,9375 m<sup>3</sup>/menit pada menit ke-17 yaitu sebesar 47,7 %. Semakin banyak pasokan *excess air* ternyata berdampak pada penurunan efisiensi pembakaran pada alat [5].

### 3.4 Komposisi Senyawa Kimia Ash Deposit

*Ash deposit* merupakan abu sisa hasil pembakaran dari biomassa kelapa sawit. Pada penelitian ini, *ash deposit* yang diambil yaitu yang ada pada bagian

*combustor*. Senyawa kimia yang terkandung pada *ash deposit* biomassa sawit pada penelitian ini mirip dengan komposisi senyawa kimia POFA pada penelitian lainnya yang sudah pernah dilakukan. Dapat dilihat bahwa abu hasil pembakaran biomassa sawit masih mengandung cukup banyak senyawa kimia yang masih dapat digunakan untuk berbagai fungsi lainnya. Salah satunya yaitu sebagai pupuk alternatif yang murah, hal ini dikarenakan abu hasil pembakaran masih mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman seperti K, Ca, dan Mg [7].

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu: Profil temperatur yang paling baik adalah pada kondisi maasa biomassa 2 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit. Namun temperatur pembakaran yang paling maksimum diperoleh pada kondisi massa biomassa 3 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit. Kadar O<sub>2</sub> minimum dan CO<sub>2</sub> maksimum diperoleh ketika pembakaran biomassa 3 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit dengan kandungan dari masing-masing gas tersebut yaitu 0,2 % dan 19,9 %. Sedikitnya jumlah O<sub>2</sub> dan banyaknya jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan menggambarkan proses pembakaran terjadi dengan baik.

Pemberian udara berlebih (*excess air*) terhadap proses pembakaran biomassa sawit dapat membuat pembakaran menjadi lebih sempurna. Namun, semakin banyak *excess air* yang diberikan tidak menjamin keefektifan terjadinya suatu proses pembakaran. *Excess air* yang diberikan pada proses pembakaran harus disesuaikan jumlahnya dengan bahan bakar (optimal). Pemberian *excess air* terbaik didapat ketika pembakaran dengan menggunakan biomassa sebanyak 3 kg dengan laju alir udara 1,25 m<sup>3</sup>/menit.

Efisiensi pembakaran pada alat *Fluidized Bed Combustor* bergantung pada banyaknya panas pada gas yang dihasilkan proses pembakaran terhadap jumlah bahan bakar. Efisiensi pembakaran maksimum yang didapat yaitu pada pembakaran biomassa 1 kg dengan laju alir udara 0,625 m<sup>3</sup>/menit yaitu sebesar 94,9 %.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Mappiratu, Sikanna, R. Kajian Teknologi Produksi Biogas Dari Sampah Basah Rumah Tangga. 2013. *Natural Sciences: Jurnal of Science and Technology*. 2(1): 25–34.
- [2] Nasution, Herawan, T., Rivani, M. 2014. Analysis of Palm Biomass as Electricity from Palm oil Mills in North Sumatera. *Energy Procedia*. 47: 166–172.
- [3] Winaya I.N.S., Susila, I.B.A.D. 2010. Co-Firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 4(2): 180–188

- [4] Strizhak, P.A., Vershinina, K.Y. 2017. Maximum Combustion Temperature for Coal-Water Slurry Containing Petrochemicals. *Energy*. 120: 34–46.
- [5] Ghufron, H.C., Prasetyo, Mulud, T.H. 2014. Analisa Pengaruh Excess Air terhadap Flue Gas di PLTU Tanjung Jati B Unit 2. *Jurnal Teknik Energi*. 10(3): 84–89.
- [6] Mahidin, Khairil, Adisalamun, Gani, A. Karakteristik Pembakaran Batubara Peringkat Rendah, Cangkang Sawit dan Campurannya dalam Fluidized Bed Boiler. *Jurnal Rektor*. 12(4): 253–259.
- [7] Ekawati, I., Purwanto, Z. 2012. *Potensi Abu Limbah Pertanian sebagai Sumber Alternatif Unsur Hara Kalium, Kalsium, dan Magnesium untuk Menunjang Kelestarian Produksi Tanaman*. Seminar Nasional Kedaulatan Pangan dan Energi.
- [8] Mulyati, S., Dahlan, D., Adril, E. 2012. Pengaruh Persen Massa Hasil Pembakaran Serbuk Kayu dan Ampas Tebu pada Mortar terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisisnya. *Jurnal Ilmu Fisika*. 4(1): 31–39.