

# Optimasi Gasifikasi Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan *Powder Gasifier Type Cyclone*

The Optimazation Process of Powder Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunches with Powder Gasifier Cyclone Type

**Riksa Prayogi Widyaprawira\*, R. Radi, Bambang Purwantana**

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,  
Jl. Flora No. 1 Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*Email: riksap41@gmail.com

Tanggal submisi: 4 Desember 2018; Tanggal penerimaan: 11 Juli 2019

## ABSTRAK

Setiap tahun produksi minyak sawit meningkat. Dari 1 ton produksi tandan buah segar (TBS) dihasilkan 22%–23% tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Potensi TKKS berdasarkan uji lab menunjukkan TKKS memiliki nilai kalor sebesar 3353,97 kkal/kg. Adapun tujuan penelitian adalah untuk menentukan ukuran bahan TKKS pada proses gasifikasi, untuk menentukan kombinasi AFR (*Air Fuel Ratio*) pada *gasifier* tipe *cyclone* sehingga menghasilkan energi yang optimal serta memprediksi proses gasifikasi dalam reaktor *gasifier* tipe *cyclone* dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Untuk mengkonversi TKKS menjadi energi digunakan metode gasifikasi dengan *gasifier* tipe *cyclone*. Adapun metode penelitian ini adalah perlakuan ukuran serbuk TKKS dengan perlakuan mesh 14, 30, dan 50 disertai 4 perlakuan rasio udara–bahan bakar dan laju massa bahan serta perlakuan variasi panjang pipa tengah. Berat sampel 500 g ditambah 100 g arang dengan 3 kali pengulangan. Dari hasil penelitian, perlakuan A3 (mesh 50) menunjukkan suhu tertinggi 348,23 °C, energi kalor 1008,68 kkal/kg, efisiensi energi 30,07%, dan AFR sebesar 97,81 kg/kg, namun menghasilkan KKM (kapasitas kerja mesin) terendah yaitu 14,65 kg/jam. Berdasarkan uji sensor, perlakuan A3 dihasilkan tegangan sensor CO sebesar 1,45 mV; H 1,81 mV; dan CH<sub>4</sub> 0,66 mV. Pada kombinasi perlakuan kecepatan udara dan kecepatan putar *screw*, perlakuan B4 menghasilkan KKM sebesar 20 kg/jam dan AFR 97,1 kg/kg. Hasil tegangan sensor gas tertinggi pada perlakuan B4 yaitu tegangan CO 1,58 mV; dan H 1,98 mV. Berdasarkan panjang pipa, perlakuan C1 menghasilkan nilai KKM sebesar 16,6 kg/jam, energi kalor 997 kkal/kg, efisiensi 29,73% dan AFR 82,87 kg/kg. Pada perlakuan C1 didapat tegangan sensor gas CO sebesar 1,6 mV; H 2,48 mV; dan CH<sub>4</sub> 1,46 mV. Pada simulasi CFD sebaran suhu, kecepatan fluida maupun tekanan pada titik iterasi pertengahan mengalami kenaikan. Hal ini dipengaruhi oleh dimensi reaktor yang dibuktikan dengan grafik maupun simulasi CFD.

**Kata kunci:** Simulasi CFD; gasifikasi; mesh; TKKS; dimensi pipa *center* reaktor gasifikasi; *powder gasifier* tipe *cyclone*;

## ABSTRACT

Every year, palm-oil production is increasing. Each ton of fresh fruit bunches produced up to 22%–23% of oil palm empty fruit bunches (OPEFB). Based on the laboratory test, OPEFB contains 69.72% volatiles and 3353.97 kcal/kg of calor. The aim of this research was to determine the size material of OPEFB in gasification process, to determine the combination of AFR (*Air Fuel Ratio*) in the cyclone type gasifier so that optimal energy is produced, and to predict the gasification process using a CFD method (*Computational Fluid Dynamic*). The powder cyclone type gasifier method was used to convert this into renewable energy. The research method consisted of using OPEFB powder material with 14, 30 and 50 mesh treatment, 4 air-fuel ratio, and material mass rate treatments, and variations of the middle-pipe length treatment. The weight of each sample is 500 g, added with 100 g of

charcoal and repeated 3 times. The results showed that the A3 mesh had the highest temperature at 348.23 °C, 1008.68 kcal/kg of heat value, 30.07% of efficiency, 97.81 kg/kg of AFR value, but had the lowest engine working capacity (EWC) with 14.65 kg/hour. Based on the sensor test, A3 treatment's voltage of monoxide sensor output was 1.45 mV; 1.81 mV of hydrogen; and methane at 0.66 mV. In the combination of air speed and screw rotational treatment, AFR values were generated by B4 treatment with an EWC value of 20 kg/hour and AFR of 97.1 kg/kg. The highest gas monoxide sensor results in B4 treatment was 1.58 mV; hydrogen 1.98 mV. Based on the length of the entrance pipe in the reactor, C1 treatment produced an optimal value of the EWC value at 16.6 kg/hour, the heat energy value was 997 kcal/kg, the efficiency value was 29.73% and the AFR value was 82,87 kg/kg. In C1 treatment, the monoxide gas sensor voltage was 1.6 mV; and methane was 1.46 mV. The CFD simulation showed that the temperature distribution, fluid velocity and pressure in the middle iteration had a significant increase. This can be influenced by the dimensions of cyclone type powder gasifier with a CFD simulation.

**Keywords:** CFD; OPEFB; gasification; mesh; pipe dimensions of reactors; powder gasifier cyclone type

## PENDAHULUAN

Pada tahun 2015, ketersediaan minyak sawit mencapai 20.542.224 ton dan tahun 2017 meningkat menjadi 34.468.293 ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017). Hal tersebut mengindikasikan limbah hasil dari perkebunan sawit meningkat setiap tahun-nya. Prastowo dan Purwantana. (2011) dalam Asari, Alharis, dan Elita. (2014) menyebutkan bahwa setiap 1 ton produksi tandan buah segar (TBS) dapat menghasilkan 22%-23% Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap tahun potensi ketersediaan TKKS sebagai bahan biomassa selalu meningkat. Jika dilihat dari karakteristik TKKS. Secara lengkap karakteristik proximat TKKS tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut

Tabel 1. *Property* TKKS (tandan kosong kelapa sawit) hasil uji laboratorium (Agustina, 2016)

Karakteristik	Tandan kosong kelapa sawit
Analisis proksimat (% berat)	
- Kadar air (% basis basah)	55,60
Kadar air (% basis kering)	5,18
- Kadar volatil	82,58
- <i>Fixed carbon</i>	8,97
- Abu	3,45
Solulosa	36,57 %
Densitas	0.13 g/cm <sup>3</sup>
Ultimate analysis (berat % BK)	
- C	46,62
- H	6,45
- N	1,21
- S	0,035
- O	45,66
Nilai kalor (MJ/kg)	16,2

Dari data tersebut artinya TKKS hasil limbah sawit berpotensi sebagai sumber energi terbarukan dengan gasifikasi. Pada proses gasifikasi, produksi gas pembakaran dari biomassa diperlukan dua proses antara lain *pyrolysis* dan *water gas process* (gas cair) (Higman, 2003).

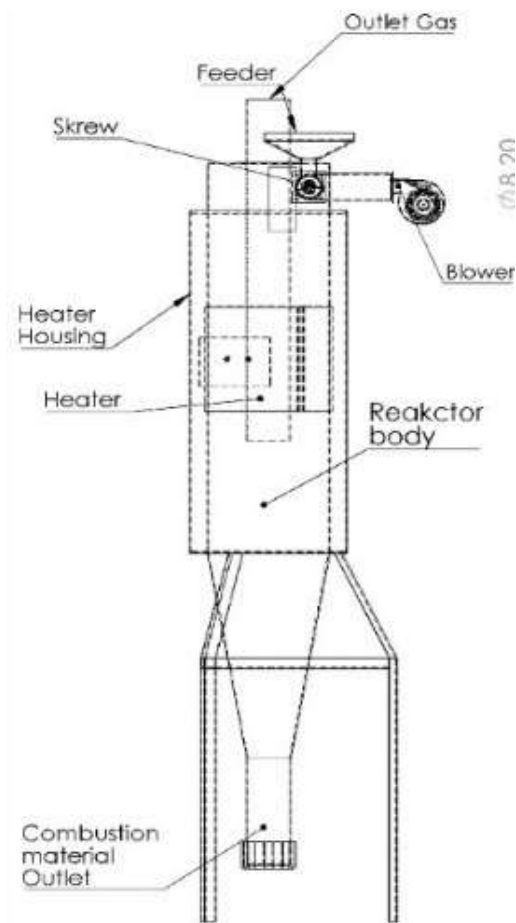
Gasifier tipe *cyclone* merupakan salah satu jenis reaktor yang mengubah bahan biomassa secara efisien untuk menghasilkan *syngas* dari proses gasifikasi. Ukuran partikel serbuk bahan yang digunakan pada proses gasifikasi mempengaruhi lama pembakaran bahan, hasil gas yang dihasilkan dan komposisi gas yang dihasilkan (Higman, 2003). Proses gasifikasi menyebabkan reaksi termokimia yang menghasilkan CO, H<sub>2</sub>, dan gas metana (CH<sub>4</sub>) (Raisul. 2016). Keunggulan penggunaan *powder gasifier* tipe *cyclone* ditunjukkan dengan penelitian menggunakan bahan serbuk kayu. Dari 30 kg bahan serbuk kayu dihasilkan nilai kalor 3,9 MJ/Nm<sup>3</sup>, dengan nilai tertinggi pada massa perbandingan *enthalpy* dan efisiensi sebesar 60 dan 98,7%. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi adalah 73,4% (Miskam, 2008). Begitu pula dengan penelitian pada gasifier tipe *cyclone* menggunakan serbuk sekam padi, dengan debit bahan 20,1 kg/jam dapat dihasilkan nilai panas dari produksi gas sebesar 6,98 MJ/Nm<sup>3</sup> dan efisiensi gas yang dihasilkan 64% (Sun, 2008).

Adapun tujuan riset ini untuk menentukan ukuran mesh partikel bahan TKKS yang tepat terhadap proses reaksi gasifikasi pada reaktor *powder gasifier* tipe *cyclone* sehingga menghasilkan energi yang optimal, untuk menentukan kombinasi debit bahan dan udara (*Air Fuel Ratio*) pada *powder gasifier* tipe *cyclone* sehingga menghasilkan energi yang optimal, untuk memprediksi pola aliran proses gasifikasi dalam reaktor gasifier tipe *cyclone* dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

**METODE PENELITIAN**

**Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi skema pada Gambar 1.



1. Powder Gasifier tipe Cyclone dengan kapasitas daya listrik pada powder gasifier type cyclone ialah 4000 Watt.
2. Blower
3. Thermocouple tipe K
4. Tabung Venojek
5. Thermocouple Digital
6. Stopwatch
7. Timbangan Digital
8. Hot Wire Anemometer
9. Bomb Calorimeter
10. Gas Chromatograph (GC-MS)
11. Gas Detector CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan CO

Gambar 1. Skema reaktor powder gasifier type cyclone dan alat yang digunakan

**Bahan**

Bahan uji menggunakan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang telah dicacah dan dihaluskan dengan diskmill pada mesh 14, 30, 50.

**Metode**

Garis besar pelaksanaan "optimasi gasifikasi serbuk tandan kosong kelapa sawit menggunakan powder gasifier type cyclone" dilakukan dalam 4 tahapan

a. Menyusun garis besar sidik ragam

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	T Tabel	
					5%	1%
Ulangan Galat	$v_1 = r - 1 = 2$ $v_2 = (rh - 1) - (h - 1) = 27$ $rh - 1 = 35$	JKH JKG	JKH/ $v_1$ JKG/ $v_2$	KTH/KTG	$F(v_1, v_2)$	
Total						

Dimana : r = banyak ulangan;  
h = treatment

b. Menghitung jumlah perlakuan (T), jumlah ulangan (R) dan Jumlah umum (G)

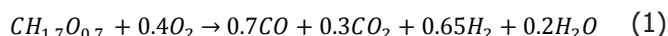
	Perlakuan	Ulangan			Jumlah (TA)	Rerata (y)
		1	2	3		
A	A1	A11	A12	A13	TA1	
	A2	A21	A22	A23	TA2	
	A3	A31	A32	A33	TA3	
B	B1	B11	B12	B13	TB1	
	B2	B21	B22	B23	TB2	
	B3	B31	B32	B33	TB3	
	B4	B41	B42	B43	TB4	
C	C1	C11	C12	C13	TC1	
	C2	C21	C22	C23	TC2	
	C3	C31	C32	C33	TC3	
Jumlah	(TY)	Ty1	Ty2	Ty3	Tij	(yij)

Keterangan: A = perlakuan mesh bahan, B = perlakuan kombinasi kecepatan udara dan screw, C = Perlakuan panjang pipa

yaitu, perancangan badan reaktor *powder gasifier* tipe *cyclone*, simulasi menggunakan CFD untuk mengetahui pola aliran, uji performansi *powder gasifier* tipe *cyclone* dan uji proximat TKKS. Adapun rancangan percobaan yang dilakukan adalah menggunakan RAL (Rancangan Acak Lengkap) seperti digambarkan sebagai berikut (Heryanto. 1996):

### Perhitungan

Nilai perbandingan udara dan bahan bakar ditentukan dari komposisi bahan bakar dan reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi. Adapun rumus molekul tandan kosong sawit adalah  $CH_{1.7}O_{0.7}$ , yang mana persamaan reaksi setelah gasifikasi menjadi :



Perhitungan ini juga meliputi perhitungan aliran syngas (flow rate), laju konsumsi bahan bakar (mass fuel rate), dan laju aliran udara gas gasifikasi (Mc Cabe. 1985).

### Laju konsumsi bahan bakar atau kapasitas kerja mesin

$$Kkm = \frac{mBb(kg)}{t(s)} \quad (2)$$

### Laju aliran udara

Kebutuhan jumlah udara gasifikasi selalu lebih kecil daripada kebutuhan jumlah udara stoikiometri (pembakaran sempurna). Adapun ER dihitung dengan persamaan berikut (Mc Cabe *et al*, 1985):

$$ER = \frac{\text{Laju aliran udara Gasifikasi} \times \text{Durasi Operasional}}{\text{Jumlah Massa Bahan Bakar} \times \left(\frac{A}{T}\right) \text{ untuk } \phi=1} \quad (3)$$

### Debit udara gasifikasi

Debit udara gasifikasi merupakan volume udara per satuan waktu selama proses gasifikasi berlangsung. Diukur berdasarkan kecepatan aliran udara dan luas bukaan katup udara.

$$Q_{\text{debit udara}} = V.A \quad (4)$$

### Air Fuel Ratio (AFR)

Jumlah bahan bakar dan udara dalam proses pembakaran sering dinyatakan sebagai rasio 'udara untuk bahan bakar (Higman, C. and Van Der Burgt, M., 2003) :

$$AFR = \frac{m_{\text{udara}} (kg)}{m_{\text{bahan bakar}} (kg)} \quad (5)$$

### Nilai kalor pada gas

Nilai kalor maksimal pada gas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *ultimate analysis* (Tchobanoglous, 1993). Adapun persamaan *ultimate analysis* adalah sebagai berikut:

$$\max \frac{Btu}{lb} = 145C + 610 \left( H - \frac{1}{8} O \right) + 40S + 10N \quad (6)$$

Dari hasil perhitungan *ultimate analysis* pada gas maka dari persentasi gas (%) hasil pengukuran laboratorium dengan GC-MS maka dihitung nilai kalor gas dengan persamaan berikut:

$$\frac{Btu}{lb} = \frac{gas\%}{100} \cdot \max \frac{Btu}{lb} \quad (7)$$

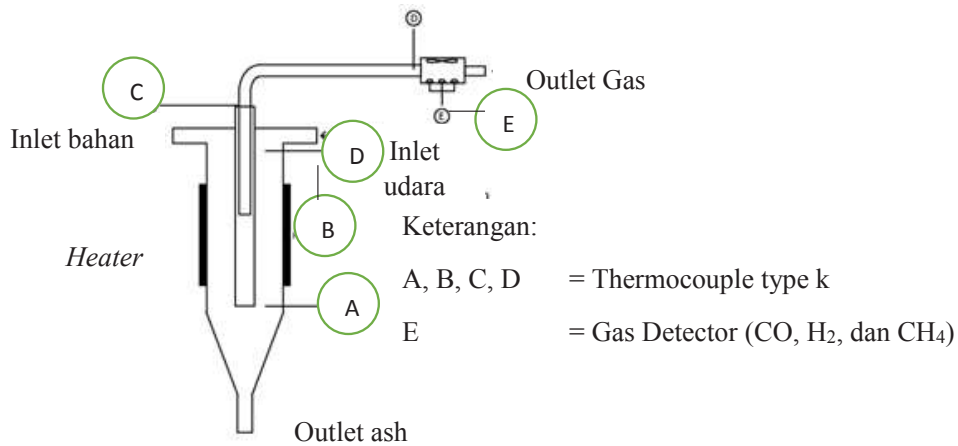
**Efisiensi gasifikasi**

Efisiensi gasifikasi adalah persentase energi dari bahan bakar yang diubah menjadi gas mampu bakar (masih mengandung tar). Persamaan berikut ini digunakan untuk menghitung efisiensi gasifikasi (Mc Cabe, 1985).

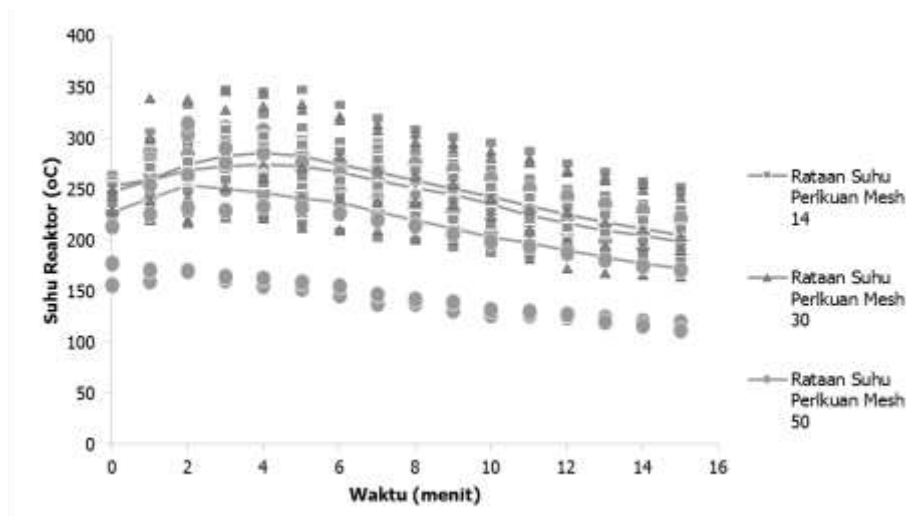
$$\eta = \frac{flowrate\ syngas \times LHV\ syngas}{mass\ flowrate\ bahan\ bakar \times LHV\ bahan\ bakar} \quad (8)$$

**Temperatur gasifier dan kadar gas hasil gasifikasi**

Temperatur yang merupakan tolok ukur energi termal, diamati dengan sensor suhu yang dipasang di beberapa lokasi yang mewakili untuk analisis termal pada proses gasifikasi, yaitu seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Skema pemasangan *thermostate type k* dan sensor gas pada badan *powder gasifier type cyclone*



Gambar 3. Grafik perilaku suhu pada perlakuan mesh

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kinerja Badan Cyclone pada Gasifier Type Cyclone dengan Bahan Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit**

Pada penelitian ini penggunaan filamen dengan daya 4000 Watt tersebut hanya dapat mencapai suhu maksimum <400 °C sehingga proses gasifikasi masih dapat dikatakan belum terjadi atau masih pada tahap *pyrolysis*.

**Perilaku Suhu pada Perlakuan Ukuran Mesh TKKS**

Pada perlakuan mesh didapat bahwa penggunaan mesh 14 menghasilkan suhu tertinggi dibandingkan perlakuan mesh lainnya yaitu 348,23 °C pada menit ke-3. Sementara pada perlakuan mesh 30 menghasilkan suhu maksimal 347,20 °C pada menit ke-3 dan perlakuan mesh 50 menghasilkan suhu maksimal 311,23 °C.

Secara keseluruhan perilaku suhu digambarkan grafik pada gambar 3 berikut.

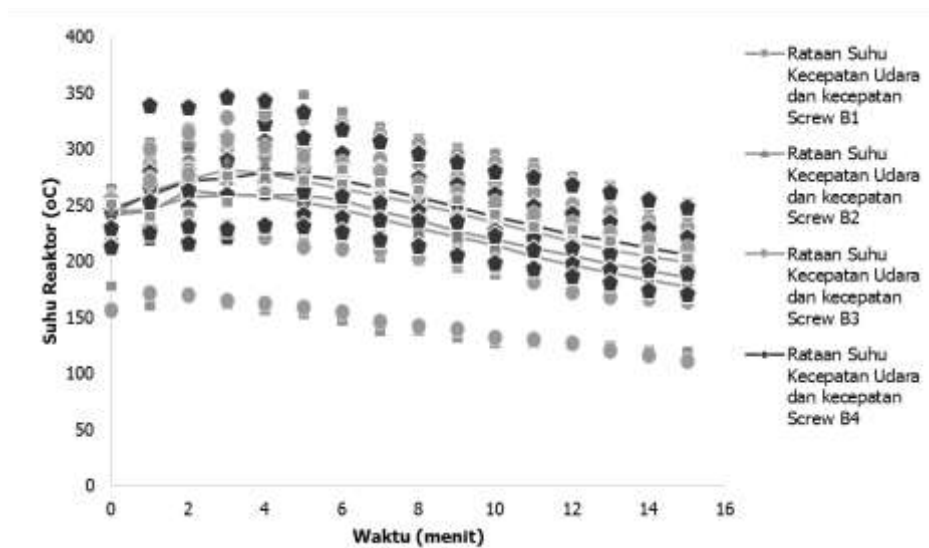
**Perilaku Suhu pada Perlakuan Kombinasi Kecepatan Udara Blower dan Kecepatan Putar Screw**

Pada perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan putar screw maka didapat bahwa perlakuan B1 menghasilkan suhu maksimal tertinggi sebesar 348,33 °C pada menit ke-3, diikuti perlakuan B4 dengan suhu maksimal 347,2 °C pada menit ke-3, perlakuan B3 sebesar 332,1 °C pada menit ke-4 dan perlakuan B2 dengan suhu maksimal 304,1 °C. Secara umum perilaku

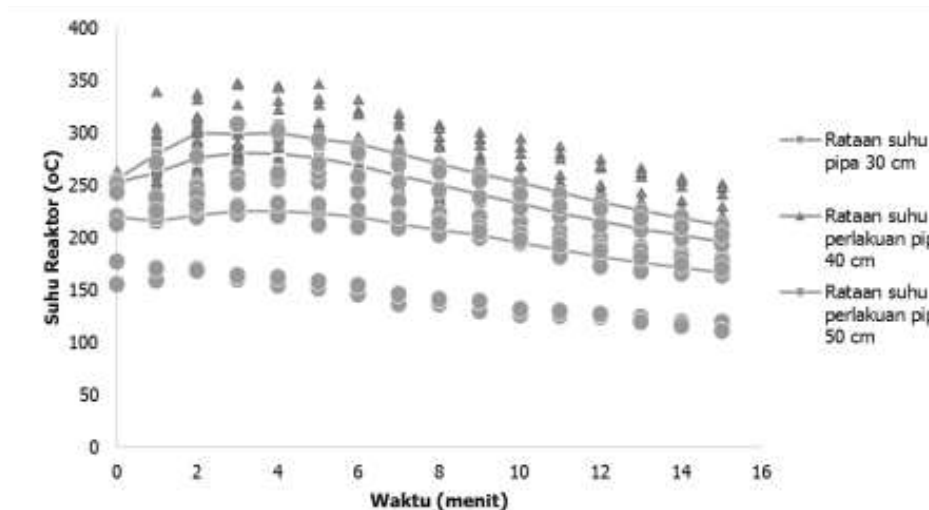
suhu terhadap perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan putar srew dapat dilihat pada gambar 15 berikut.

**Perilaku Suhu pada Perlakuan Panjang Pipa Cone Reaktor Gasifier tipe Cyclone**

Pada perlakuan panjang pipa, suhu maksimal tertinggi didapat pada perlakuan pipa 40 cm pada menit ke-3 yaitu 348,23 °C, sedangkan pada perlakuan pipa 30 cm didapat suhu maksimal 311,23 °C pada menit ke-3, dan perlakuan pipa 50 cm didapat suhu maksimal 309,07 °C pada menit ke-3. Secara keseluruhan perilaku pada proses gasifikasi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Grafik perilaku suhu pada perlakuan kombinasi kecepatan udara blower dan kecepatan putar screw



Gambar 5. Grafik perilaku suhu pada perlakuan panjang pipa cone reaktor gasifier tipe cyclone

### Pengaruh Perlakuan Mesh pada Proses Gasifikasi

Pada penelitian ini mesh bahan serbuk TKKS yang digunakan adalah mesh 14 (A1), mesh 30 (A2) dan mesh 50 (A3). Indikasi baiknya perlakuan mesh dapat dilihat berdasarkan KKM (kapasitas kerja mesin), nilai energi kalor yang dihasilkan (*Low Heat Value*), Nilai Efisiensi, dan AFR (*Air Fuel Ratio*).

Pada Gambar 6 (a), perlakuan mesh 50 (A3) menunjukkan nilai rata-rata tertinggi sebesar 15,44 kg/jam diikuti perlakuan mesh 30 (A2) yaitu sebesar 15,35 kg/jam dan pada perlakuan mesh 14 (A1) sebesar 14,65 kg/jam. Pada grafik tersebut membuktikan bahwa perlakuan mesh dapat mempengaruhi KKM. Pada gambar 6 (b), perlakuan mesh 14 (A1) menunjukkan nilai energi kalor tertinggi dibanding perlakuan mesh 30 (A2), dan mesh 50 (A3). Pada perlakuan mesh 14, rata-rata nilai energi kalor yang dihasilkan sebesar 1008,68 kkal/Kg, mesh 30 menghasilkan rata-rata nilai energi kalor 967,72 kkal/kg dan pada mesh 50 menghasilkan rata-rata energi sebesar 813,19 kkal/kg.

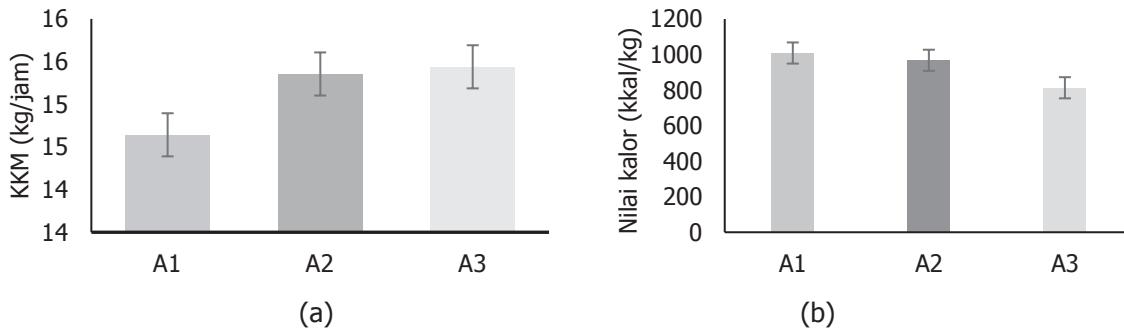
Pada grafik Gambar 7 (a) disebutkan bahwa perlakuan mesh 14 (A1) menunjukkan nilai efisiensi

tertinggi dibandingkan perlakuan mesh 30 (A2), dan perlakuan mesh 50 (A3). Pada mesh 14 didapatkan nilai efisiensi sebesar 30,07%, mesh 30 sebesar 28,85% dan mesh 50 sebesar 24,25%. Pada perlakuan mesh yang ditunjukkan Gambar 7 (b), mesh 14 (A1) menunjukkan bahwa perlakuan ini menghasilkan nilai AFR tertinggi jika dibandingkan perlakuan mesh 30 (A2) dan mesh 50 (A3). Pada perlakuan mesh 14 nilai AFR yang dihasilkan adalah 173,02 kg/kg, mesh 30 menghasilkan nilai AFR 170,75 kg/kg dan mesh 50 menghasilkan nilai AFR terendah yaitu 97,81 kg/kg.

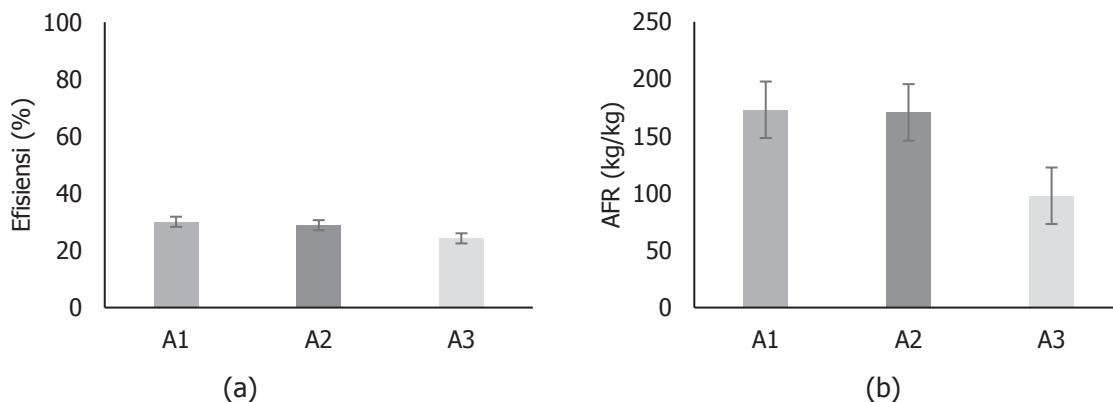
### Kombinasi Perlakuan Kecepatan Udara dan Kecepatan Putar Screw Inlet

Perlakuan kecepatan udara dan kecepatan screw dapat mempengaruhi nilai KKM pada proses gasifikasi dengan *gasifier* tipe *cyclone*. Namun semakin cepat udara dan aliran bahan pada proses gasifikasi tidak menjamin pemrosesan serbuk TKKS terproses dengan sempurna.

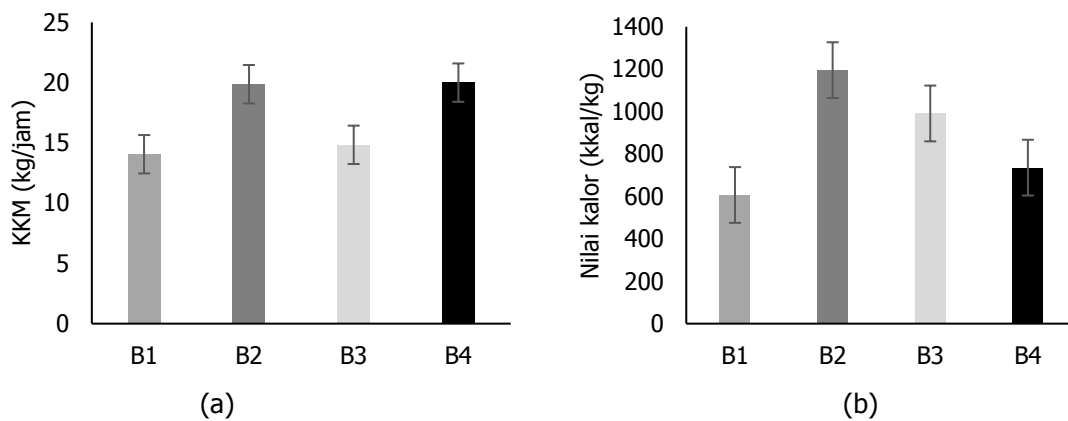
Pada Gambar 8 (a) menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan udara dan kecepatan screw tertinggi



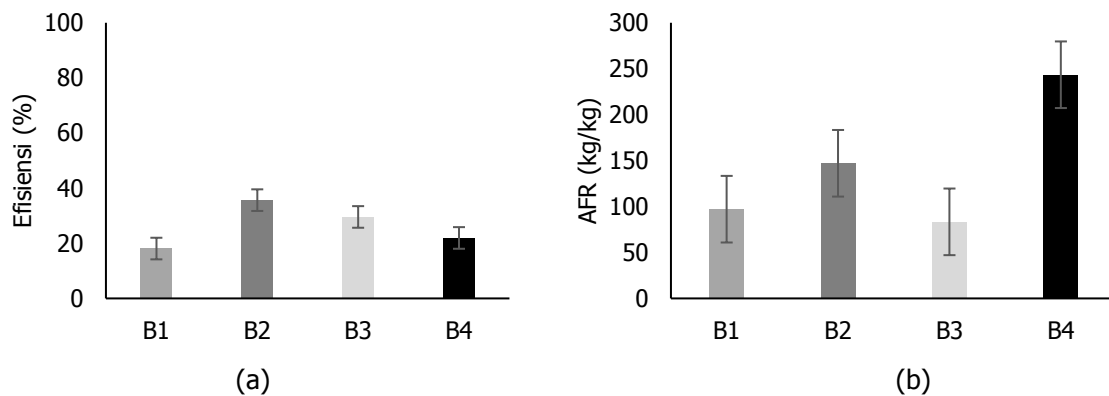
Gambar 6. (a) Pengaruh mesh terhadap rata-rata KKM bahan powder TKKS; (b) Pengaruh mesh terhadap rata-rata Nilai Energi Kalor



Gambar 7. (a) Pengaruh perlakuan mesh terhadap nilai efisiensi; (b) Pengaruh perlakuan mesh terhadap nilai AFR



Gambar 8. (a) Kombinasi perlakuan kecepatan udara dan kecepatan screw terhadap nilai KKM; (b) Pengaruh perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan putar *screw inlet* terhadap nilai energi kalor



Gambar 9. (a) Grafik pengaruh perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan putar *screw inlet* terhadap efisiensi gasifikasi; (b) Grafik pengaruh perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan putar *screw inlet* terhadap nilai AFR

ditunjukkan oleh perlakuan B4. Pada perlakuan B4 dihasilkan nilai KKM sebesar 20 kg/jam, diikuti perlakuan B2 sebesar 19,87 kg/jam, perlakuan B2 14,84 kg/jam dan terakhir perlakuan 14,06 kg/jam. Pada Gambar 8 (b) menunjukkan bahwa perlakuan B2 menghasilkan nilai energi yang tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Pada perlakuan B2 dihasilkan rata-rata nilai energi kalor sebesar 1195,58 kkal/kg dan efisiensi energi 35%, sedangkan pada perlakuan lainnya secara berurutan ialah pada perlakuan B1 dihasilkan energi kalor sebesar 606,65 kkal/kg, perlakuan B3 dihasilkan rata-rata nilai energi kalor sebesar 991,17 kkal/kg, dan perlakuan B4 menghasilkan rata-rata nilai energi kalor sebesar 735,65 kkal/kg.

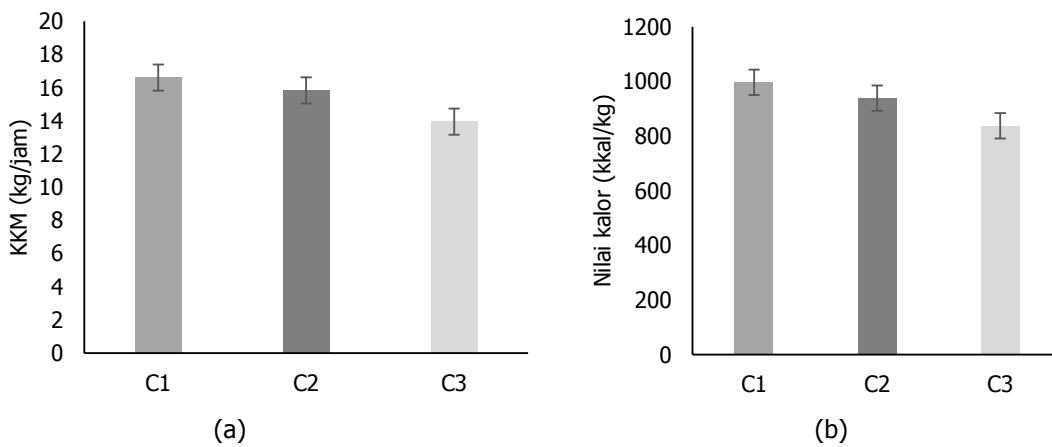
Pada Gambar 9 (a), menunjukkan bahwa perlakuan B2 menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 35,65%. Pada Gambar 9 (b), menunjukkan bahwa perlakuan B4

menghasilkan nilai AFR tertinggi atau sebesar 973,7 kg/kg, diikuti perlakuan B3 sebesar 606,14 kg/kg, perlakuan B1 sebesar 388,41 kg/kg dan terkecil pada perlakuan B2 sebesar 323,52 kg/kg. Nilai AFR yang tinggi bukan menjadi indikator bahwa pada proses pembakaran akan menghasilkan nilai kalor yang optimal (Hagos, 2014)

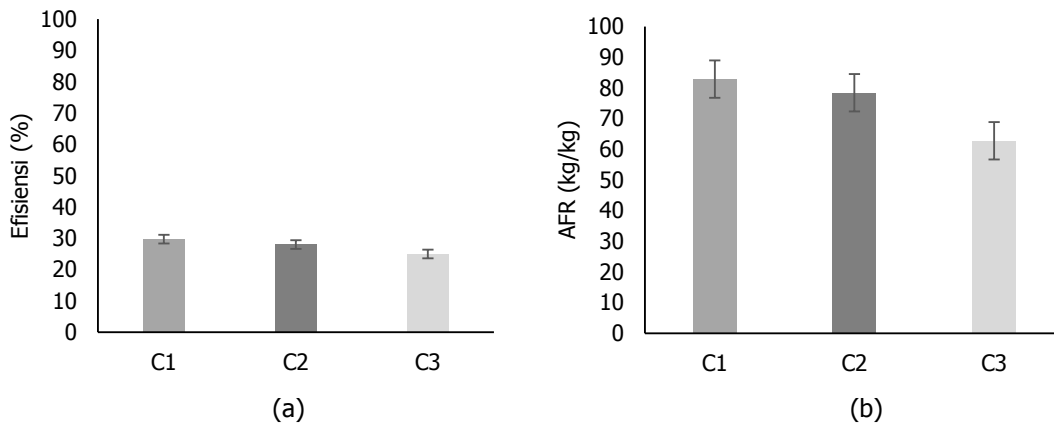
#### Perlakuan Panjang Pipa *Center Reaktor Powder Gasifier tipe Cyclone*

Pada perlakuan panjang pipa didapat nilai KKM tertinggi diperoleh pada perlakuan C1. Pada perlakuan C1 didapat nilai KKM sebesar 16,6 kg/jam, diikuti oleh perlakuan C2 dengan nilai KKM 15,83 kg/jam dan terakhir pada perlakuan C3 sebesar 13,95 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa nilai KKM dapat dipengaruhi oleh panjang pipa *center reaktor gasifier*. Pada rata-rata nilai energi kalor, penggunaan pada panjang pipa 50





Gambar 10. (a) Pengaruh panjang pipa terhadap nilai KKM; (b) Pengaruh panjang pipa terhadap energi

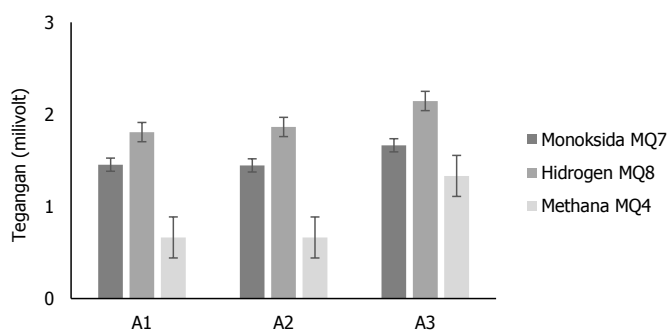


Gambar 11. (a) Pengaruh panjang pipa terhadap efisiensi; (b) Pengaruh panjang pipa terhadap nilai AFR

cm menghasilkan nilai energi tertinggi, hal ini dibuktikan dengan gambar 28. Pada perlakuan panjang pipa 50 cm (C1) didapat rata-rata nilai energi kalor sebesar 997 kkal/kg, perlakuan pipa 40 cm menghasilkan nilai rata-rata energi sebesar 939,01 kkal/kg dan pada perlakuan pipa 30 cm menghasilkan nilai rata-rata energi sebesar 837,87 kkal/kg.

Seperti halnya pada pengaruh nilai energi kalor, perlakuan pipa pun dapat mempengaruhi nilai efisiensi

yang dihasilkan dari proses gasifikasi reaktor *powder gasifier* tipe *cyclone*. Pada perlakuan 50 cm didapat nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 29,73% diikuti perlakuan pipa 40 cm sebesar 28% dan terakhir pada perlakuan 30 cm dapat efisiensi sebesar 24,98%. Pada Gambar 11 (b) menunjukkan bahwa perlakuan C1 menghasilkan nilai AFR tertinggi atau sebesar 82,87 kg/kg, diikuti perlakuan C2 sebesar 78,43 kg/kg, dan terakhir perlakuan C3 sebesar 62,77 kg/kg.

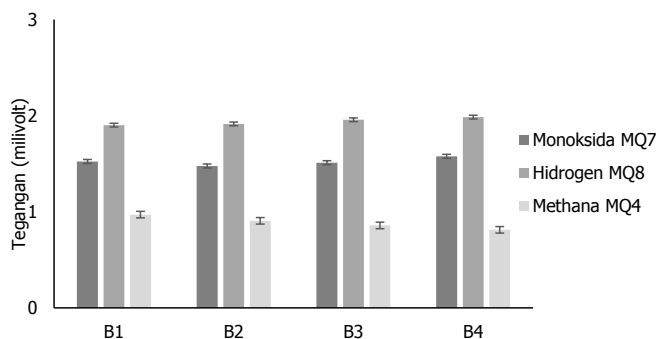


Gambar 12. Pengukuran gas pada perlakuan mesh bahan

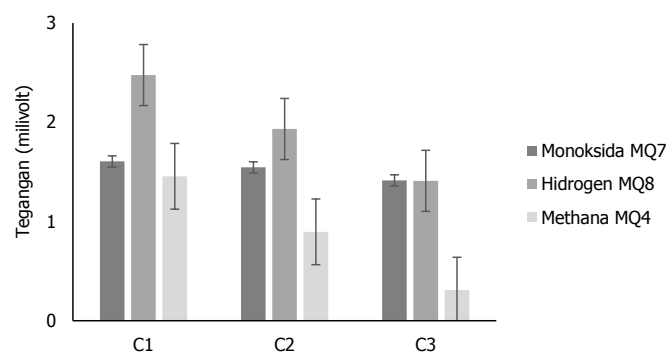
### Hasil Pengukuran Sensor pada Perlakuan Mesh

Pada perlakuan mesh didapat bahwa perlakuan A3 (mesh 50) menghasilkan keluaran nilai tegangan tertinggi dibanding pada perlakuan A1 (mesh 14) dan perlakuan A2 (mesh 30). Secara singkat nilai keluaran tegangan sensor pada proses gasifikasi dengan perlakuan mesh dapat dilihat pada gambar 12 berikut.

Adapun nilai rata-rata tegangan pada perlakuan mesh 50 adalah sebagai berikut, monoksida (MQ7) sebesar 1,66 mV; hidrogen (MQ8) sebesar 2,15 mV; dan methana (MQ4) sebesar; 1,33 mV. Pada perlakuan mesh



Gambar 13. Pengukuran gas pada perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan rotasi screw



Gambar 14. Pengukuran gas pada perlakuan panjang pipa

14 menghasilkan nilai tegangan keluaran sensor pada monoksida (MQ7) sebesar 1,45 mV; hidrogen (MQ8) sebesar 1,81 mV; dan methana (MQ4) sebesar 0,66 mV. Sedangkan pada perlakuan mesh 30 menghasilkan nilai tegangan keluaran sensor pada monoksida (MQ7) sebesar 1,45 mV; hidrogen (MQ8) sebesar 1,81 mV; dan methana (MQ4) sebesar 0,66 mV.

### Hasil Pengukuran Sensor pada Perlakuan Kombinasi Kecepatan Udara Dan Kecepatan Putar Screw

Berdasarkan pengukuran sensor gas pada perlakuan kombinasi kecepatan udara dan kecepatan putar screw. Didapat bahwa hasil tegangan gas monoksida (MQ7) tertinggi pada perlakuan B4 yaitu 1,58 mV; diikuti perlakuan B1 yaitu 1,52 mV; perlakuan B3 yaitu 1,51 mV; dan terakhir perlakuan B2 yaitu 1,48 mV. Pada pengukuran sensor gas hidrogen (MQ8) tertinggi pada perlakuan B4 yaitu 1,98 mV; diikuti perlakuan B3 yaitu 1,96 mV; perlakuan B2 yaitu 1,91 mV; dan perlakuan B1 yaitu 1,9 mV. Adapun hasil pengukuran sensor gas methana (MQ4) didapat hasil tertinggi pada perlakuan B1 yaitu 0,97 mV; diikuti perlakuan yaitu 0,91 mV; perlakuan B3 yaitu 0,86 mV; dan perlakuan B4 sebesar 0,81 mV. Secara singkat data pengukuran tersebut dapat dilihat pada gambar 13.

### Hasil Pengukuran Sensor pada Perlakuan Panjang Pipa Reaktor Gasifier tipe Cyclone

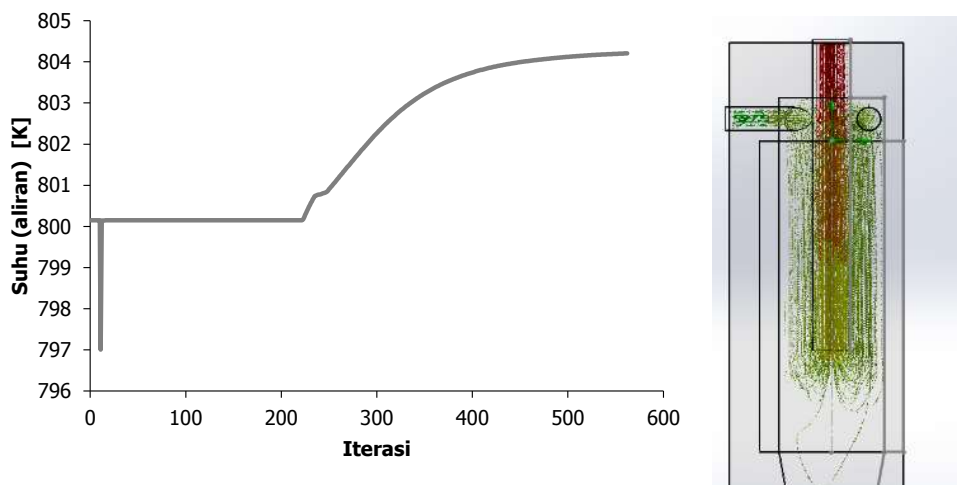
Pada perlakuan panjang pipa hasil pengukuran tegangan sensor gas tertinggi didapat pada perlakuan C1 (pipa 50 cm) yaitu tegangan sensor gas monoksida (MQ7) sebesar 1,6 mV; tegangan sensor gas hidrogen sebesar 2,48 mV; dan tegangan sensor methana (MQ4) sebesar 1,46 mV. Pada perlakuan C2 (pipa 40 cm) didapat hasil tegangan sensor gas monoksida (MQ7) sebesar 1,55 mV; sensor gas hidrogen (MQ8) sebesar 1,93 mV; dan sensor gas methana (MQ4) sebesar 0,9 mV. Sedangkan pada perlakuan C3 (pipa 30 cm) didapat hasil tegangan sensor gas monoksida (MQ7) sebesar 1,41 mV; sensor gas hidrogen (MQ8) sebesar 1,41 mV; dan sensor gas methana (MQ4) sebesar 0,31 mV.

### Simulasi CFD pada

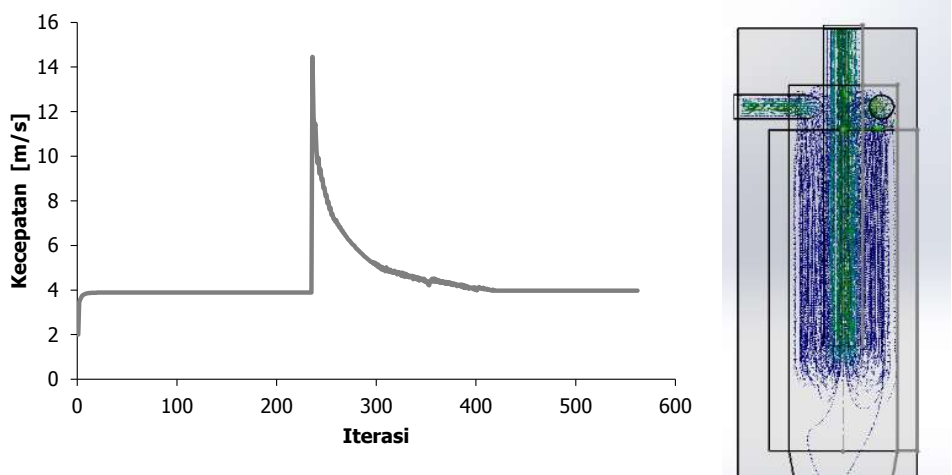
Pada simulasi CFD properti kecepatan udara 2 m/s dan ukuran panjang pipa 50 cm menunjukkan hasil simulasi terbaik, hal ini dibuktikan dari grafik dan simulasi berikut.

Dari gambar 15 dijelaskan bahwa pada kondisi tersebut perubahan temperatur terjadi secara *fluktuatif*. Pada titik iterasi 1 temperatur awal pada 800,15 °C, kemudian terjadi penurunan pada iterasi 11 menjadi 797,15 °C dan kembali naik menjadi 800,14 °C pada iterasi 16. Dari iterasi 16 tersebut, temperatur mengalami kenaikan mencapai temperatur 800,15 °C hingga iterasi 222. Pada iterasi 223 hingga iterasi 235, temperatur mulai mengalami kenaikan 800,75 °C. Dari iterasi 235 hingga iterasi 248, temperatur naik hingga 800,48 °C, dan pada iterasi 249 hingga iterasi 562 temperatur mencapai titik maksimal yaitu 804,2 °C. Pada grafik sebaran kecepatan fluida dalam proses gasifikasi dengan perlakuan *property* kecepatan udara awal 2 m/s dan panjang pipa 50 cm, gambar 16 menunjukkan bahwa pada iterasi 1 kecepatan udara awal adalah 2 m/s. Kemudian pada iterasi 2 kecepatan mengalami kenaikan menjadi 3,45 m/s pada sistem. Pada iterasi selanjutnya kondisi kecepatan fluida kembali naik hingga 3,86 dan mencapai titik kecepatan relatif stabil hingga iterasi 235 dengan kenaikan kecepatan 3,88 m/s. Pada iterasi 236 secara signifikan kecepatan naik menjadi 14,45 m/s, kemudian kembali turun hingga iterasi 423 menjadi 3,96 m/s. Dimulai iterasi 423 kecepatan tetap stabil pada 3,96 m/s hingga iterasi 562.

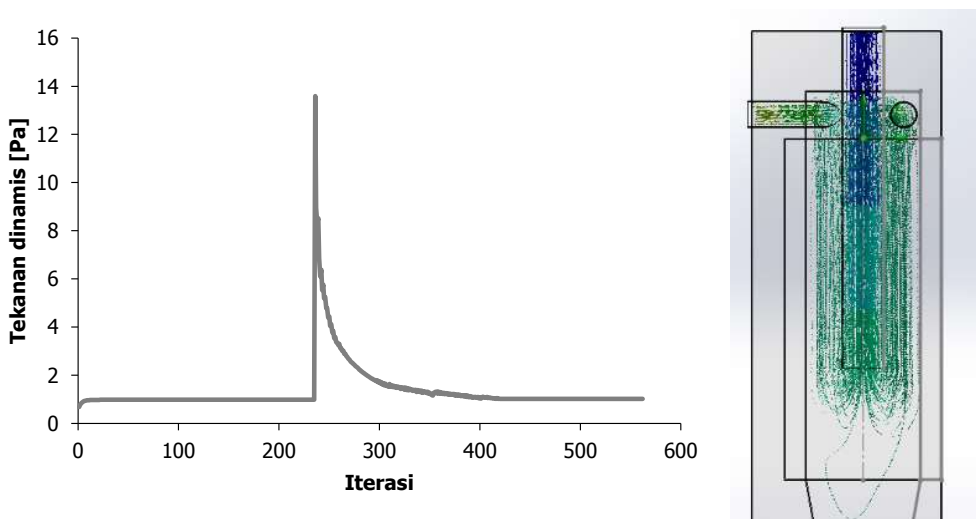
Pada iterasi 1 didapat tekanan 0,68 Pa kemudian pada iterasi 10 tekanan fluida meningkat menjadi 0,96 Pa. Tekanan tersebut konstan hingga iterasi 235. Pada iterasi 236 dihasilkan tekanan maksimum 13,59 Pa. Dari iterasi 237 tekanan turun hingga iterasi 424 menjadi 1,02 Pa. Nilai tekanan 1,02 Pa ini konstan hingga



Gambar 15. Simulasi temperatur pada Vudara = 2 m/s dan panjang pipa 50 cm



Gambar 16. Simulasi kecepatan pada Vudara = 2 m/s dan panjang pipa 50 cm



Gambar 17. Simulasi tekanan pada Vudara = 2 m/s dan panjang pipa 50 cm

iterasi 562. Pada hasil simulasi ini jika dibandingkan dengan simulasi perlakuan panjang pipa sebelumnya, penurunan terjadi lebih lambat hal ini dapat diakibatkan oleh panjang pipa tengah pada badan reaktor.

## KESIMPULAN

Pengaruh setiap perlakuan pada suhu proses gasifikasi serbuk TKKS dengan reaktor *powder gasifier* tipe *cyclone* menunjukkan bahwa semakin besar ukuran partikel dan rasio udara-bahan bakar yang rendah dapat menghasilkan suhu optimum pada proses gasifikasi dengan menggunakan *gasifier* tipe *cyclone*. Selain itu untuk menghasilkan nilai optimal dilihat dari temperature, kecepatan aliran fluida, dan tekanan atmosfer pada badan reaktor dengan simulasi CFD dapat ditunjukkan pada panjang pipa center gasifier tipe cyclone 50 cm dengan kecepatan udara 2 m/s.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa artikel ini asli hasil penelitian para penulis, hanya dipublikasikan pada jurnal ini, dan tidak ada konflik kepentingan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina L., Udiantoro, dan Halim, A. (2016). Karakteristik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Perlakuan Perebusan dan Pengukusan. Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat. Ziraah, 41, 97-102, ISSN ELEKTRONIK 2355-3545.
- Badan Pusat Statistik-Indonesia. (2017). Data Statistik Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Menurut Provinsi Berdasarkan SK Menteri Kehutanan. Jakarta, DKI
- Asari, A., Alharis, D., Elita, R. (2014). Uji Kinerja Gasifikasi Tandan Kosong Sawit (TKS) tipe updraft Skala Kecil. Balai Besar Meknisasi Pertanian Serpong. Prosiding Seminar Nasional Swasembada Pangan. Polinela. 508-509.
- Coker, A. L. (2003). Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design. Gulf Professional Publishing, Amsterdam.
- Hagos F.Y.A., Aziz, R.A. dan Sulaiman, S. (2014). Effect of Air-fuel Ratio on the Combustion Characteristics of Syngas (H<sub>2</sub>/CO) in Direct-injection Spark-ignition Engine. Elsevier. 61. 2567-2571. doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.047
- Higman, E. (2003). Gasification. Gulf Professional Publishing. Amsterdam.
- M. Raisul K. (2016). Rancang Bangun Tungku Gasifikasi Tipe Downdraft Continue Bahan Bakar Sekam Padi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- McCabe, W., Smith, J., and Harriot. P. (1985). Unit Operations Of Chemical Engineering-4 Ed. Mc.Graw Hill Book Company, New York.
- Miskam, M.A. (2008). Performance and Characteristics of Cyclone Gasifier for Gasification of Sawdust. Science Alert. 8, 95-105. DOI: 10.3923/jas.2008.95.103
- Purwantana, B., Prastowo, B., Nugroho, J., dan Fernando, A. (2015). Penerapan Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pengeringan Kakao (Theobroma Cacao L.). Prosiding Seminar Nasional PERTETA 2015. Makasar.
- Sun, S., Zhao, Y., Su, F., and Ling, F. (2008). Gasification Of Rice Husk In A Cyclone Gasifier. Harbin Institute of Technology. Korean Journal of Chemical Engineering. 26, pp 528-533. doi.org/10.1007/s11814-009-0090-1
- Tchobanoglous, G. and Kreith, F. (1993). Integrated Solid Waste Management. Mc.Graw Hill.

