

## PEMBUATAN *CYCLONE BURNER* DENGAN BAHAN BAKAR SERBUK BATUBARA DENGAN KAPASITAS 76 kg/jam

Imron Rosyadi <sup>1)\*</sup>, Ni Ketut Caturwati <sup>2)</sup>, Fahrizal Pradana Putra<sup>3</sup>

<sup>1 2 3)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jendral Sudirman KM. 3 Cilegon 42435  
Email: imron\_hrs@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Proses konversi batubara menjadi kalor terjadi di burner yang terletak di *furnance*. Jenis pembakaran batubara pada PLTU bermacam-macam, yaitu: *grate*, *fluidized bed*, dan *pulverized coal combustion*. *Cyclone Burner* adalah *burner* yang prinsip kerjanya menggunakan jenis *pulverized coal combustion*. *Burner ini* menggunakan bahan bakar batubara bubuk (*pulverized coal*) yang memiliki ukuran 50-200 mesh. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *cyclone burner* yang dapat mengumpankan bahan bakar secara kontinu dan menghasilkan temperature pembakaran yang tinggi. Hasil rancangan yang dibuat, burner terdiri *air blower*, *screw feeder*, *system gas burner* dan sebuah *inverter*. Dengan komponen tersebut alat dapat berfungsi dengan baik ditandai dengan tercapainya parameter prestasi atau unjuk kerja yang diinginkan yaitu temperature dan panjang api. Temperatur maksimal yang dihasilkan yaitu 1014°C. Titik ini dicapai pada massa aliran bahan bakar paling besar (0,0357 kg/s). Panjang api optimum dihasilkan dari masukan batubara sebesar 0,0357 kg/s dihasilkan lidah api sekitar 58,49 cm.

**Kata kunci:** *Cyclone burner*, *pulverized coal*, batubara.

### ABSTRACT

*The process of converting coal to heat engine occurring in a burner that located in furnance .A kind of burning coal coal-fired power station on a variety of name such as: grate, fluidized bed , and pulverized coal for .The cyclone a burner is a burner that the principle of it works using a kind of pulverized coal for .This a burner using fuel coal powder ( pulverized coal ) that has a gauge 50-200 mesh .This study aims to to design the cyclone a burner that can mengumpankan fuel continuously and produce temperature combustion that high .The result of the designs that , a burner consisting water blower , feeder screw , gas system a burner and a inverter .With the components instrument they can properly function characterized by the achievement of the parameter of achievement or work on strike desired namely temperature and long fire .Maximum temperature produced namely 1014 °C .This point reached at mass the flow of fuel most large ( 0,0357 kg per 's ). Steady long fire resulting from the input of coal at 0,0357 kg per s produced the tongue of fire around 58,49 cm*

**Kata kunci:** *Cyclone burner*, *pulverized coal*, Coal

## 1. PENDAHULUAN

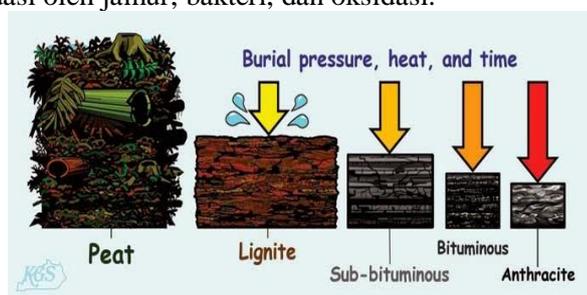
Persediaan minyak bumi di dunia semakin lama semakin menipis sebagai akibat dari eksploitasi besar-besaran, sementara minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable*). Karena keberadaan minyak bumi sebagai bahan bakar utama dunia semakin langka yang mengakibatkan semakin meningkatnya harga minyak bumi, maka banyak industri yang memanfaatkan minyak bumi sebagai bahan bakar mengalami kesulitan dalam penyediaan bahan bakar dan akhirnya mengalami gulung tikar.

Mengingat akan hal tersebut di atas maka pada masa ini mulai dicari dan dikembangkan berbagai macam energi alternatif yang dimungkinkan untuk digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang sedang diminati dan dikembangkan saat ini adalah batubara. Indonesia memiliki cadangan batubara yang sangat berlimpah, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Ini disebabkan karena sebagian besar dari cadangan batubara yang ada di Indonesia memiliki kualitas yang rendah. Dalam aplikasinya batubara dimanfaatkan dengan dibakar secara langsung baik dalam bentuk bongkahan maupun serbuk, dapat pula dalam bentuk gas (melalui *gasifikasi*) dan bentuk cair (melalui *liquefaction*). Pada pemanfaatan batubara dalam bentuk serbuk ada yang dikondisikan sebagai pulverized coal yaitu serbuk batubara yang ukurannya minimal 70% lolos 200 mesh (0,075 mm). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancang bangun konstruksi pembakar siklon berbahan bakar serbuk batubara (*Pulverized coal*). Selain itu hasil perancangan ini diharapkan dapat menghasilkan cyclone burner dengan umpan bahan bakar yang kontinu dan menghasilkan temperature pembakaran yang optimum karena salah satu indikasi proses pembakaran berlangsung baik adalah temperatur pembakaran yang dicapai tinggi. Menurut carnot semakin tinggi temperatur keluaran yang dihasilkan, maka efisiensi thermalnya juga semakin tinggi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Deskripsi Batubara

Batubara adalah salah satu sumber bahan bakar yang berasal dari fosil tanaman yang tertimbun selama puluhan bahkan ribuan tahun yang lalu, yang mengalami proses alamiah berupa pelapukan dan degradasi oleh jamur, bakteri, dan oksidasi.



Gambar 1. Pengelompokan batubara

Batubara bukanlah merupakan campuran homogen dari unsur unsur kimia Karbon ( C ), Hidrogen ( H ), Oksigen ( O ), Sulfur ( S ), Nitrogen ( N ) dan Unsur-unsur minor lainnya melainkan terdiri dari mineral organik dan Kristal mineral anorganik. Batubara diklasifikasikan dalam rank/tingkatan berdasarkan derajat komposisi kimia yang merupakan transisi dari selulosa ke grafit atau karbon. Klasifikasi ini didasarkan pada kandungan karbon dimana semakin rendah rank/tingkatan, semakin tinggi kandungan *volatile matter*nya

### 2.2 Klasifikasi Batubara

Klasifikasi batubara berdasarkan rank/tingkatan dapat ditunjukkan oleh umur batubara, yang meliputi:

1. **Lignite:** Merupakan batubara ranking rendah, dibentuk dari gambut melalui penekanan dan metamorfosa, warnanya coklat kehitaman dan memiliki struktur seperti kayu, terdekomposisi parsial. *Lignite* mempunyai kandungan *moisture* antara 15 – 25 %, pada keadaan kering kandungan bebas abu dari karbon berbeda-beda dari 60 – 75 % dan oksigennya dari 20 – 25 %.

Mempunyai kandungan zat terbang tinggi sehingga *lignite* sangat mudah terbakar, biasanya dijual dalam bentuk briket dan mempunyai nilai kalor rendah  $\pm 4000$  Kkal/Kg.

2. **Subbituminous coal:** Merupakan batubara yang memiliki karakteristik antara *lignite* dan *bituminous*. Batubara ini memiliki kandungan *moisture* dan *volatilematter* yang tinggi tetapi tidak memiliki perlengkapan untuk pemasakan (*coking*). Kandungan karbon antara 75 – 83 dan oksigennya 10-20 % dalam keadaan kering bebas abu.
3. **Bituminous coal:** Padatan pejal batubara yang berwarna hitam, kandungan karbon 75 – 90 % dengan perubahan *volatile matter* dari 20 – 45 %. Batu bara ini banyak digunakan dalam industri dan mempunyai nilai kalor yang tinggi

**Tabel 1** Klasifikasi bahan bakar fosil

Jenis bahan bakar padat	Kadar air (%)	Nilai Panas (Kkal/Kg)
Gambut	70-75	1600
Lignit	35-40	4500-5600
Batubara Sub-Bituminous	10	5700-6400
Batubara Bituminus	3	6400-8450

### 2.3 Karakteristik batubara

Karakteristik batubara sumber (*source coal*) yang digunakan harus memenuhi persyaratan batubara dari suatu tipe tungku boiler yang digunakan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan batubara, tetapi kualitas dan biaya batubara merupakan dua pertimbangan yang sangat penting.

**Tabel 2** Kategori Batubara dan Nilai Kalori (Considine, 1974)

No	Kategori	H <sub>2</sub> O (%)	C (%)	Kalori (kcal/kg)
1	<i>Lignite</i>	43,4	37,8	4.113
2	<i>Sub-bituminous</i>	23,4	42,4	5.703
3	<i>Low Volatile Subbituminous</i>	11,6	47	7.159
4	<i>Medium Volatile Sub-bituminous</i>	5	54,2	7.715
5	<i>High Volatile Subbituminous</i>	3,2	64,6	8.027
6	<i>Sub-anthracite</i>	6	83,8	8.271
7	<i>Anthracite</i>	3,2	95,6	8.427

Sedangkan karakteristik batubara sumber bervariasi dengan adanya perbedaan dalam daerah asal. Unsur pembentuk batubara terdiri dari : unsur utama (C, H, O, N, S, kadangkadang Al, Si), unsur kedua (Fe, Ca, Mg, Fe, K, Na, P, Ti), dan unsur sangat kecil (*trace*) berupa logam-logam berat (*heavy metals*) dengan berat jenis di atas 5 g/cm<sup>3</sup> (melebihi Al) dan masing-masing berkadar sangat rendah yang dinyatakan dalam ppm (bagian per sejuta) serta jumlahnya ada sekitar 40 unsur yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Dari sejumlah logam berat tersebut, yang biasa dipertimbangkan hanya 10 unsur logam berat yaitu seperti As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Se, Zn, Ag.

### 2.4 Air Fuel Ratio (AFR)

Secara teoritis, pembakaran menggunakan parameter bahan bakar dan udara pembakaran. Jumlah campuran udara dan bahan bakar harus tepat untuk menghasilkan pembakaran yang baik. *Air to fuel*

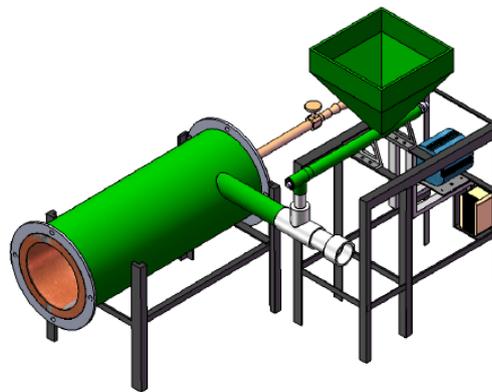
*ratio* atau biasa disebut AFR merupakan sebuah perbandingan umum secara teoritis untuk menentukan jumlah udara yang harus dicampurkan dalam bahan bakar seperti pada persamaan di bawah.

$$\text{AFR} = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bhn bakar}} = \frac{\text{mol udara}}{\text{mol bhn bakar}} \times \frac{\text{Mr udara}}{\text{Mr bhn bakar}} \left( \frac{\text{kg udara}}{\text{kg bhn bakar}} \right)$$

Perhitungan stoikiometri pembakaran dapat mengetahui kebutuhan udara dalam pembakaran sehingga perhitungan ini dapat menentukan *air to fuel ratio* dengan mudah.  $\phi$  adalah perbandingan antara AFR Stoichiometri (AFRs) dengan AFR aktual (pengujian). Nilai  $\phi$  menentukan apakah termasuk jenis pembakaran miskin, stoichic atau kaya. Kondisi campuran dengan  $0 < \phi < 1$  maka disebut pembakaran miskin,  $\phi = 1$  disebut pembakaran stoichiometric dan  $\phi > 1$  berarti pembakaran kaya bahan bakar.

### 3. METODE PENELITIAN

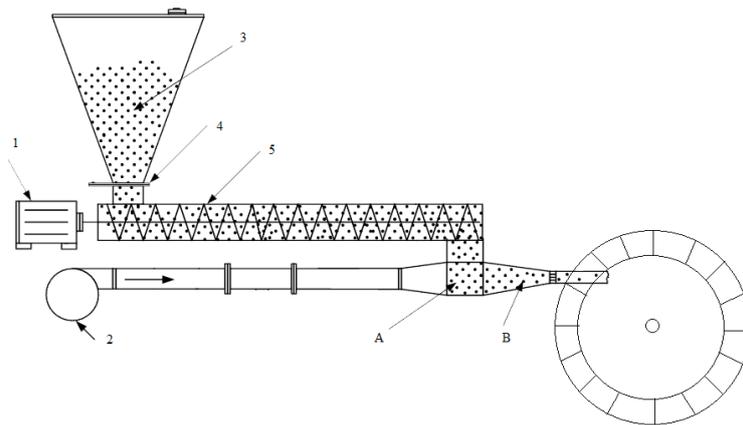
Pembuatan alat dan pengujiannya dilakukan di laboratorium manufaktur Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta. Pada penelitian ini yang digunakan merupakan skala laboratorium dengan desain yang berbeda dari yang ada di pasaran. *Burner* yang digunakan merupakan jenis *Cyclone Burner* modifikasi skala laboratorium seperti yang tampak pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3** *Cyclone Burner* skala lab

Cara kerja *Cyclone Burner* skala laboratorium pada pengujian prestasi ini adalah sebagai berikut:

1. Pemanasan mula pada *combustion chamber* menggunakan gas LPG dengan membuka *valve* Nozzle LPG dan menyalakan *ignitor*.
2. *Air blower* dinyalakan dengan putaran tertentu untuk menyuplai udara pembakaran. Pemanasan mula dilakukan hingga temperatur dalam *combustion chamber* mencapai 500 °C (2 menit), karena pada suhu itulah *volatile matter* yang terdapat pada batubara mulai terbakar (Bisio, 1995)
3. Setelah temperatur penyalaan dicapai langkah berikutnya adalah menyuplai *pulverized coal* ke dalam *Coal silo* dengan mengatur *frekuensi* pada *Inverter*
4. Menjaga kapasitas silo berisi *pulverized coal* agar selalu terisi dan memiliki aliran yang konstan dengan udara dari *Air blower* menuju *combustion chamber*.

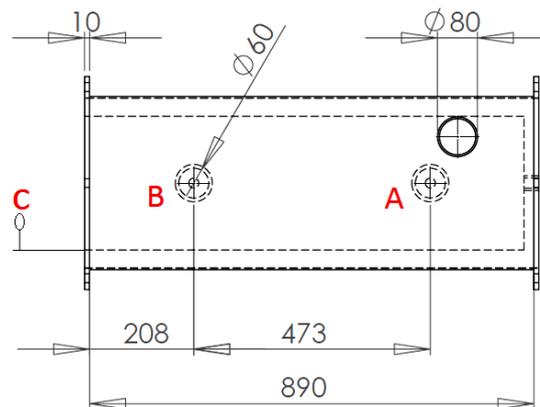


Deskripsi:

1. Drive motor
2. Blower centrifugal
3. Coal silo
4. Leher bin
5. Screw feeder
6. Inverter

**Gambar 4** Prinsip kerja alat

Dalam melakukan pengujian ini telah ditentukan parameter-parameter yang akan dicari nilainya. Parameter-parameter yang biasanya digunakan untuk menentukan prestasi dari sebuah *Burner*, yaitu Temperatur ruang bakar, digunakan untuk memperkirakan pembakaran dalam ruang bakar terjadi secara sempurna atau tidak. Pengambilan data temperatur dilakukan dengan alat ukur bantu *thermocouple* tipe K. Termometer ini memiliki pembacaan temperatur maksimal hingga 1200 °C. Temperatur yang dicatat pada pengujian ini merupakan temperatur maksimum yang dapat dicapai oleh masukan batubara pada titik-titik tertentu. Adapun posisi probe pada masing-masing titik dapat ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5.** Posisi penempatan *thermocouple*

Pembakaran batubara yang sempurna akan memberikan temperatur yang lebih tinggi dalam ruang bakar. Temperatur keluaran, merupakan parameter yang harus diketahui karena akan memberikan kalor kepada bagian selanjutnya (*boiler*, *mill*, dan lain-lain). *Ash* dan *unburn carbon*, dilakukan secara kualitatif dengan mengambil foto *unburn carbon* dan debu setelah pengujian. Konsumsi batubara, adalah kemampuan suatu alat untuk membakar massa bahan bakar per jam nya. Semakin besar konsumsi batubara maka akan semakin besar kalor yang dapat dihasilkan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengukuran data putaran (RPM) motor listrik

Karena inverter yang terpasang belum menunjukkan nilai RPM pada motor listrik maka akan dilakukan pengukuran secara manual dengan menggunakan *Tachometer*. Untuk setiap frekuensi akan dicatat secara manual putaran per menitnya sebanyak tiga kali kemudian dirata-ratakan. Hasil yang didapat kemudian dimasukkan ke dalam Tabel berikut:

**Tabel 3** Nilai RPM motor listrik

No.	Mesh	Frekuensi Inverter (Hz)	RPM
1.	200	15	89
2.		20	120
3.		25	147

#### 4.2. Perhitungan *screw feeder*

Pada perancangan burner ini digunakan *screw feeder* dengan pertimbangan bahwa batubara dengan mesh 200 tidak mampu dihembuskan oleh blower sesuai kebutuhan. Ada beberapa hal yang mempengaruhi kurangnya kemampuan blower untuk mendistribusikan bahan bakar ke ruang bakar, diantaranya adalah kelembaban bahan bakar yang menyebabkan bahan bakar cenderung menempel pada saluran pipa distribusi, daya blower, kekasaran permukaan saluran distribusi juga berpengaruh pada terhambatnya bahan bakar yang melewatinya.

Setelah didapat data putaran rpm pada *screw* maka dapat dihitung pula kapasitas dan kapasitas volumetric dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot C$$

Diketahui:

Massa jenis batubara bituminus ( $\rho$ ) = 641 kg/m<sup>3</sup>

Diameter Ulir (D) = 0,04 m

*Screw pitch* (S) = 0,025 m

RPM *screw* (n) = 254,3

*Loading efficiency* ( $\Psi$ ) = 0,15

*Factor of inclination of conveyor* (C) = 1

maka, kapasitas untuk *screw feeder* dengan frekuensi 15,20,25 Hz adalah

**Tabel 4.** Kapasitas *screw feeder*

<i>Frekuensi (Hz)</i>	<i>RPM screw</i>	<i>Kapasitas (kg/jam)</i>
15	254,3	46,065
20	343	62,133
25	420	76,081

#### 4.3. Pengukuran Laju Massa udara pembakaran ( $\dot{m}$ udara)

Pengukuran laju udara yang berasal dari *air blower* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dengan nilai  $V_b$  didapat dari hasil pengukuran kecepatan udara menggunakan alat ukur *Anemometer* sehingga didapat hasil sebagai berikut:

$$\dot{m}_{\text{udara}} = V_b \times A_{\text{pipa}} \times \rho_b$$

$$A_{\text{pipa}} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \times (0,019)^2 = 0,00114 \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_{\text{udara}} = V_b \times A_{\text{pipa}} \times \rho_b = 24 \text{ m/s} \times 0,00114 \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,0328 \text{ kg/s}$$

#### 4.4 Pengukuran laju Massa bahan bakar ( $\dot{m}$ batubara)

Pengukuran laju massa batubara dihitung dengan alat bantu berupa *stopwatch* dan timbangan. Langkah pertama masukkan batubara ke dalam *coal silo* hingga memenuhi *coal silo*, setelah itu atur frekuensi kecepatan putaran motor yang diinginkan (15, 20, dan 25 Hz) pada *inverter*,

setelah itu tampung batubara ke dalam timbangan bersamaan dengan turunnya batubara dari *screwfeeder* dan catat waktu yang dibutuhkan untuk 1 kilogram batubara yang tertampung. Hasil dari data pengukuran tersebut dimasukkan kedalam tabel 5.

**Tabel 5** Nilai laju massa batubara

No	Mesh	Freq (Hz)	Time (s)	RPM	Masa (kg)	Laju Massa (kg/s)
1.	200	15	47	89	1	0,0213
2.	200	20	39	120	1	0.0256
3.	200	25	28	147	1	0.0357

#### 4.5. Nilai Air Fuel Ratio (AFR)

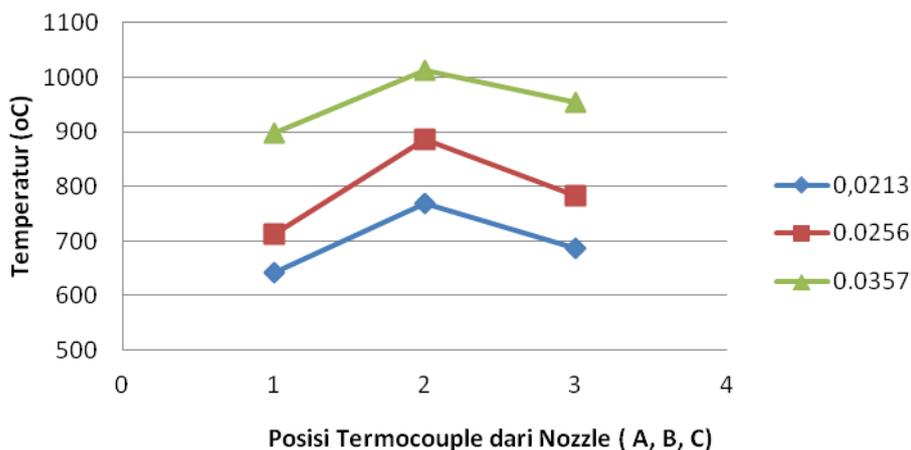
Nilai AFR didapat setelah didapatkan nilai laju massa bahan bakar dan udara. Nilai ini telah didapatkan sebelumnya sehingga nilai AFR untuk tiap-tiap masukan batubara adalah 1,534. Dari perhitungan dapat ditentukan nilai AFR untuk laju batubara yang lebih besar , AFRs dan  $\emptyset$  seperti pada tabel 6.

**Tabel 6.** nilai  $\emptyset$  untuk tiap masukan batubara

$\dot{m}_{bb}$	AFR	AFR <sub>s</sub>	$\emptyset$
0,0213	1,534	9,225	6,013
0.0256	1,281	9,225	7,201
0.0357	0,919	9,225	10,038

#### 4. 6. Pengambilan data Temperatur

Data diambil pada tiga titik A,B dan C seperti pada gambar 5. Temperatur maksimal ruang bakar dari tiap masukan batubara



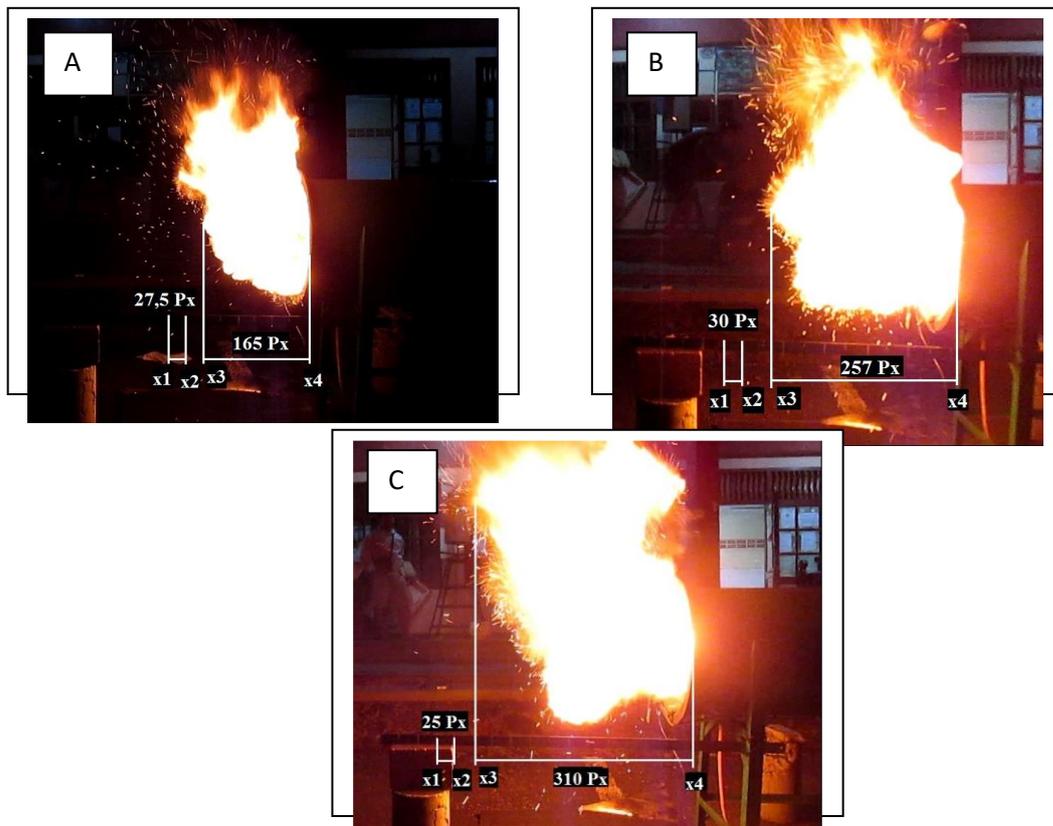
**Gambar 6.** Grafik Pencapaian Temperatur Pada Burner dengan Varian laju aliran bahan bakar

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa lokasi terjadinya nyala api paling tinggi suhunya berada pada titik B, yaitu sekitar 51 cm dari sumber keluaran bahan bakar dan merupakan lokasi terjadinya nyala 120

api dengan temperature yaitu  $1014^{\circ}\text{C}$ . Temperatur tertinggi didapat dari laju aliran bahan bakar paling besar.

#### 4.7. Pengukuran Panjang Nyala Api

Pengukuran panjang nyala api bertujuan untuk mengetahui efek dari cyclone burner dari hasil perancangan. Semakin panjang nyala api tentunya efek cyclone dari gaya sentrifugal yang diberikan pada bahan bakar juga semakin besar. Gambar nyala api diambil dari kamera yang dipasang pada tripod agar dapat dihasilkan kualitas gambar yang baik. Cara mengukur panjang api pembakaran pada gambar digunakan perangkat lunak Adobe Photoshop, dalam gambar terdapat penggaris besi dengan garis-garis sebagai tanda yang memiliki skala 5cm pada kondisi aktual. Dalam perangkat lunak Adobe Photoshop memiliki satuan pixel sebagai perbandingan dengan garis-garis yang berada pada mistar. Dengan interpolasi perhitungan dari gambar berskala maka dimensi panjang api secara aktual dapat dicari.



**Gambar 7.** Dokumentasi profil lidah api pada variasi inverter A=15,B=20 dan C=25 Hz

Temperatur maksimal yang dicapai berbeda-beda untuk tiap laju masukan batubara. Ini sesuai dengan hipotesis karena semakin besar laju batubara maka semakin besar panas yang dihasilkan. Panas yang dihasilkan ini akan menaikkan temperatur pada ruang bakar. Dari pengamatan dan pengambilan data dapat dilihat bahwa untuk masukan batubara sebesar  $0,0213 \text{ kg/s}$  dihasilkan lidah api 30 cm. dan untuk masukan batubara sebesar  $0,0256 \text{ kg/s}$  dihasilkan lidah api 42,83 cm. serta untuk masukan batubara sebesar  $0,0357 \text{ kg/s}$  dihasilkan lidah api sekitar 58,49 cm.

## 5. KESIMPULAN

1. *Cyclone burner* dengan komponen-komponen pendukung seperti *screw feeder*, *combustion chamber*, *air blower* dan *system gas burner* dapat berfungsi dengan baik.
2. Dalam pelapisan ruang pembakaran, bata tahan api yang diperlukan yaitu sebanyak 93 buah *firebrick SK-34* ( $1400^{\circ}\text{C}$ ) untuk mengisolasi panas yang dihasilkan dari *combustion chamber*

3. Sistem pengumpan batubara yang telah dimodifikasi dengan menggunakan *screw feeder* untuk dapat mencegah terjadinya penyumbatan pada saluran pengumpan serbuk batubara.
4. Lokasi terjadinya nyala api paling tinggi suhunya berada pada titik B, yaitu sekitar 51 cm dari sumber keluaran bahan bakar dan merupakan lokasi terjadinya nyala api dengan temperatur yaitu 1014°C. Titik ini dicapai pada massa aliran bahan bakar paling besar (0,0357 kg/s).
5. Panjang api optimum dihasilkan dari masukan batubara sebesar 0,0357 kg/s dihasilkan lidah api sekitar 58,49 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

Incropera and Dewitt, 1996, *Introduction to Heat Transfer*, Third edition. John Willey and Sons, Canada,

Heru Kuncoro, Samun Triyoko, 2007, Pengaruh komposisi partikel batubara dan prosentase udara pada pembakaran batubara serbuk. Surakarta.

Akbar, Amri2008, Perancangan Sistem Pengendalian Pembakaran Pada Duct Burner Waste Heat Boiler (Whb) Berbasis Logic Solver". Jurusan Teknik Fisika ITS: Surabaya.

El-Mahallawy, F., Habik, S., 2002, *Fundamentals And Technology Of Combustion*, Elsevier,

Warnatz, J., 2006, *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiment, Pollutant Formation*, 3rd Edition, Springer,

Fuel and Combustion. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TekMira). *Jurnal Volume 5 No.13*. Januari 2009  
Coal statistic, diakses pada 10 April 2014  
(<http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics/>)

Design of Screw Conveyor, diakses pada 02 Mei 2014  
(<http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/screw-conveyor-calculations/>)

Burner Boiler Batubara, diakses 29 november 2013  
([http://mutehnik.com/burner\\_boiler\\_batubara.html](http://mutehnik.com/burner_boiler_batubara.html))

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, (Online), 1 Desember 2013.  
(<http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Statistik/Statistik%20Batubara.pdf>)