

## **PEMBUATAN BOILER BERBAHAN BAKAR SERBUK BATU BARA MENGGUNAKAN PROSES PEMBAKARAN CYCLO**

**M Denny Surindra<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Konversi Energi, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. Sudharto SH, Tembalang, Semarang 50275

\*Email: dennysurindra@yahoo.com.sg

### **Abstrak**

*Industri kecil seperti industri kerajinan tahu dan tempe membutuhkan boiler untuk proses produksi pengolahan kedelai. Untuk itu paper ini melaporkan pembuatan, penghitungan efisiensi dan kerugian panas pada boiler berbahan bakar serbuk batu bara dengan memanfaatkan proses pembakaran cyclo. Metode yang digunakan adalah observasi, studi kepustakaan, penggambaran, pembuatan, pengujian, analisa dari data hasil pengujian dan kesimpulan. Pengambilan data hasil pengujian berupa variasi tekanan absolute (1,5 bar, 2 bar) dengan masing-masing 5 kali pengujian. Data berupa parameter-parameter yaitu massa bahan bakar dan air, temperatur gas burner, temperatur gas buang, temperatur setelah pompa, temperatur dan tekanan uap pada boiler, dan temperatur setelah throttling. Efisiensi boiler diperoleh dari perbandingan antara energi penyerapan air umpan dengan energi pembakaran bahan bakar. Kerugian panas pada boiler berupa kerugian kalor yang terbawa gas asap kering dan kerugian panas yang tidak teridentifikasi. Dari 10 kali percobaan rata-rata efisiensi : 17,81964 %, rata-rata kerugian kalor yang terbawa gas asap kering : 7,6393 % dan rata-rata kerugian panas yang tidak teridentifikasi : 73,5477 %.*

**Kata kunci:** boiler, efisiensi, cyclo burner

### **1. PENDAHULUAN**

Batubara di Indonesia saat ini memiliki cadangan sebesar 4,968 milyar ton atau 0,55% dari total cadangan batubara dunia. Dengan tingkat produksi mencapai 120 juta ton per tahun, diperkirakan batubara di Indonesia dapat diproduksi selama 45 tahun. Melihat besarnya cadangan batubara memang relatif akan berumur panjang, jika dibandingkan negara China dengan produksi batubara pada tahun 2004 sebesar 1,95 miliar ton, negara ini hanya mengekspor 86,63 juta ton dan mengimpor batu bara 18,36 juta ton. Di tahun 2003 dengan produksi 1,61 miliar ton, ekspornya sebesar 93,85 juta ton, dengan impor sebesar 10,29 juta ton. Dengan dicabutnya subsidi BBM untuk industri maka harga BBM naik sampai lebih dari 300%, khususnya BBM untuk boiler industri. Batubara berpeluang besar untuk menggantikan posisi BBM sebagai bahan bakar boiler industri. Kerugian pengoperasian boiler BBM berkapasitas 16 ton/jam adalah lebih dari Rp 30.000.000,- per hari jika dibandingkan pengoperasian dengan boiler batubara, sehingga mengakibatkan banyak industri yang beralih ke boiler batubara dan meninggalkan boiler BBM-nya Sumaryono (2006).

Di industri tekstil dan garmen, batubara dipergunakan untuk sumber energi boiler, terutama untuk penguapan dalam proses *weaving*. Dibandingkan, dengan penggunaan solar, batubara mampu menekan ongkos produksi hingga 60%. Untuk industri kecil, pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar masih sedikit. Salah satu potensi pemanfaatan batubara adalah di industri tahu dan tempe. Pada industri tahu dan tempe membutuhkan boiler untuk memasak kedelai. Oleh karena itu serbuk batubara merupakan solusi yang tepat, lebih murah, efektif dan mudah diperoleh. Dengan menggunakan serbuk batubara ini, dapat diperoleh efisiensi harga bahan bakar 40,74 %.

Permasalahan yang sering dihadapi oleh industri tahu dan tempe adalah mahalnya bahan bakar minyak sehingga para pengusaha kecil banyak yang beralih menggunakan kayu bakar. Penggunaan kayu bakar ini membuat penebangan tak terkendali yang menyebabkan penggundulan hutan. Saat ini untuk mendapatkan kayu bakar pun sudah sangat susah dan harganya pun tergolong mahal, khususnya di daerah perkotaan. Oleh karena itu serbuk batubara merupakan solusi yang tepat, lebih murah, dan efektif. Dengan menggunakan serbuk batubara ini, diharapkan dapat menghemat biaya pengeluaran untuk pembakaran.

Paper ini bertujuan menganalisis hasil dari pembuatan boiler dengan memperhitungkan data yang diperoleh untuk menghasilkan efisiensi boiler. Bahan bakar boiler yang dipergunakan adalah serbuk batubara dengan proses pembakaran *cyclo*. Boiler ini diharapkan dapat menurunkan biaya produksi dari tahu tempe dikarenakan harga bahan bakar serbuk batubara lebih murah daripada bahan bakar minyak dan kayu bakar. Disamping itu boiler ini dirancang dapat beroperasi menggunakan bahan bakar serbuk batubara tetapi kalau terjadi masalah dengan serbuk batubara dapat menggunakan bahan bakar minyak ataupun kayu bakar.



**Gambar 1. Boiler di Industri Tahu Tempe**

*Boiler* adalah suatu pesawat untuk menghasilkan uap dengan cara mengubah air menjadi uap melalui pertolongan panas dari gas-gas hasil pembakaran. Pembakaran bahan bakar terjadi pada suatu *furnace* (dapur api) dan panas yang dihasilkan haruslah dimanfaatkan semaksimal mungkin, sehingga gas asap yang keluar cerobong mempunyai kalori yang serendah mungkin. Prinsip kerja boiler adalah adanya perpindahan panas (*heat transfer*) dari pembakaran bahan bakar atau sumber panas ke air, sehingga air berubah menjadi uap karena naiknya suhu sampai melewati titik didih di dalam boiler. Uap yang dihasilkan oleh boiler merupakan akibat dari perubahan fase air menjadi uap dengan cara pendidihan. Keadaan uap tergantung dari tekanan dan temperturnya, oleh karena itu pembentukan uap diadakan pada tekanan konstan.

Khasani dan Insan (2007) telah meneliti karakteristik aliran dua fase gas padat antara udara dan serbuk batubara yang mengalir dalam pipa. Hal ini dapat dimanfaatkan peneliti untuk mengantisipasi aliran bahan bakar batubara untuk *burner*. Pada kecepatan superficial 4,3 m/s ini partikel serbuk batubara ada yang keluar dari suspense. Semakin *solid flux* bertambah maka jumlah partikel yang keluar dari suspense juga ikut bertambah. Pola aliran yang terbentuk pada kecepatan ini dan dibawahnya adalah pola aliran *dense phase*. Pada daerah kecepatan ini, kecepatan udara sudah tidak mampu lagi untuk mengangkut semua material. Sehingga material atau partikel yang tidak terangkut akan jatuh atau keluar dari aliran turun pada bagian dinding-dinding pipa.

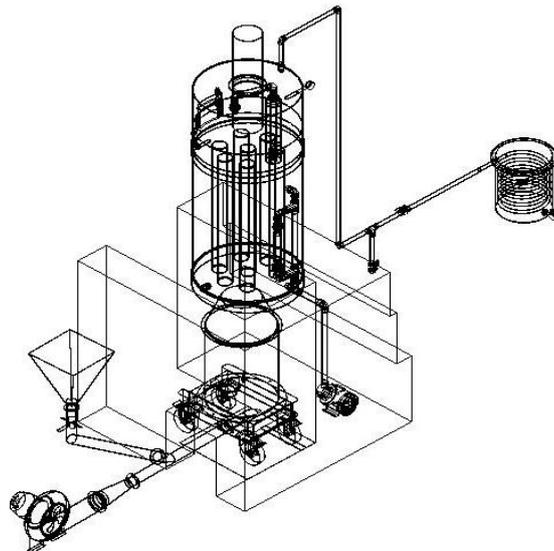
Pembuatan boiler dengan bahan bakar sekam padi telah dibuat dan diteliti oleh Nawafi dkk (2010). Pada boiler dengan bahan bakar sekam yang diharapkan dapat diaplikasikan untuk skala industri, dimana system boiler ini dapat memperbesar efisiensinya. Hasil pemasakan air 50 liter, efisiensinya adalah 22,18%. Sedangkan dalam pemasakan air 50 liter dengan sistem non boiler, besar efisiensinya adalah 20,47%. Begitu juga dengan perbandingan pemasakan air 100 liter dan 150 liter antara pemasakan dengan sistem boiler dan non boiler, dimana pemasakan air 100 liter dengan sistem boiler, efisiensinya adalah 19,23%, sedangkan pemasakan air dengan sistem non boiler efisiensinya sebesar 17,54%. Pemasakan air 150 liter dengan sistem boiler, efisiensinya sebesar 21,26% sedangkan pemasakan air 150 liter dengan sistem non boiler, efisiensinya 21,04%.

Heru dkk (2007) meneliti tentang komposisi partikel batubara dan berbagai prosentase udara primer dalam pembakaran serbuk batubara. Penelitian yang lain yang dilakukan oleh Sinarep (2011) dalam jurnal yang telah dilaporkannya, membuat gasifikasi dari bahan bakar batubara yang diaplikasikan untuk pengeringan daun tembakau. Dalam tulisannya Sinarep (2011) memberikan informasi tentang berbagai kondisi panjang lidah api dari berbagai kecepatan udara yang digunakan dengan batubara.

Sebenarnya Sumaryono (2006) telah memberilakn laporan yang sangat signifikan dengan merubah bahan bakar minyak ke serbuk batubara dan menghasilakn efisiensi mencapai 86,7%. Sumaryono (2006) melakukan modifikasi pada *boiler* dengan mengganti *burner* BBM dengan pembakar siklon batubara ternyata pembakar siklon dapat berinteraksi baik dengan *boiler* yang ditunjukkan oleh efisiensi energy yang cukup baik, rata-rata 86,7% dan produksi uap langsung normal dalam waktu kurang dari 30 menit setelah penyalaan.

## 2. METODOLOGI

*Boiler* ini dirancang dan dibangun menggunakan *plat* setebal 6mm yang dikerjakan dengan pengerolan dan pengelasan sehingga terwujud boiler sebagai berikut ini:



**Gambar 2. Instalasi Boiler**

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data *boiler* adalah sebagai berikut:

- (1) Neraca massa, digunakan untuk mengukur massa air dan bahan bakar serbuk batubara yang akan digunakan dalam pengujian.
- (2) Stop watch, digunakan untuk mengukur waktu selama proses pengambilan data.
- (3) *Thermometer* digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan ( $T_1$ ), temperatur air keluar pompa ( $T_2$ ), temperature uap ( $T_3$ ), dan temperatur uap keluaran *throttling* ( $T_4$ ).
- (4) *Pressure gauge* analog digunakan untuk mengetahui tekanan uap *boiler* ( $P_u$ ) 5 bar.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan bakar serbuk batubara didapatkan di salah satu industry kecil dikawasan industry wijaya kusuma Semarang. Besarnya nilai kalor dari serbuk batubara tersebut telah diujikan di Sucofindo. Adapun nilai kalor dari serbuk batubara adalah:

Massa unsur-unsur kimia pada 1 kg serbuk batu bara :

- C : 0,66 kg
- N : 0,1 kg
- sedikit M
- H : 0,05 kg
- Abu : 0,035 kg
- O : 0,2 kg
- S : 0,035 kg

$$\begin{aligned}
 \text{HHV} &= 33950C + 144200 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400S \\
 &= 33950 \cdot 0,66 + 144200 \left( 0,05 - \frac{0,2}{8} \right) + 9400 \cdot 0,03 \\
 &= 26341 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 2411(M + 9H_2) \\ &= 26341 - 2411(0 + 9 \cdot 0,05) \\ &= 25256,05 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

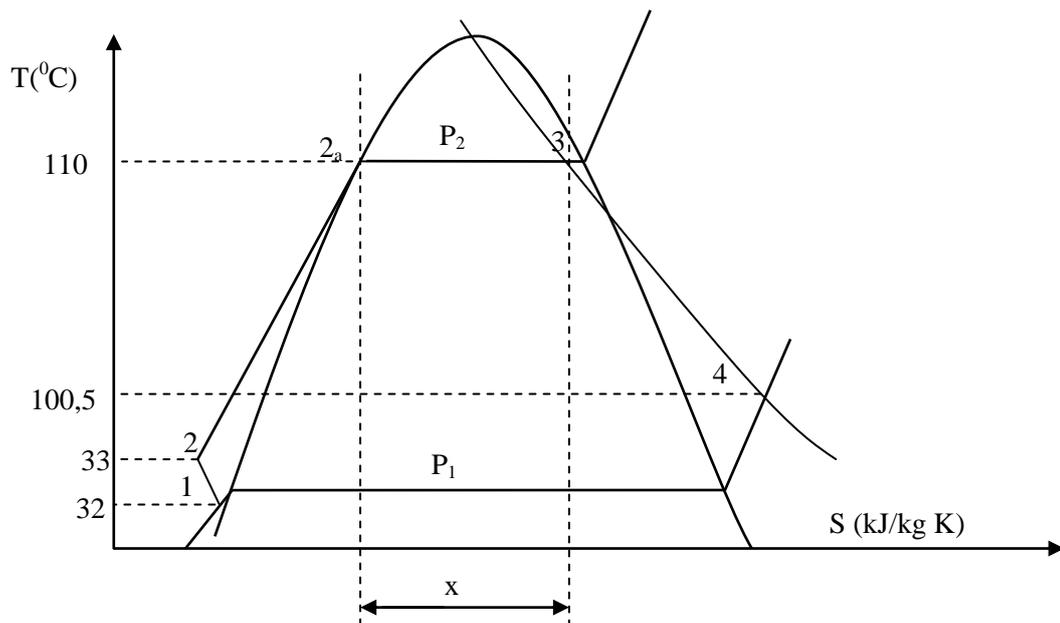
$$\text{LHV} = N_{bb} = 25256,05 \text{ kJ/kg}$$

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 1. Data Pengujian**

Bukaan feeder	$m_{bb}$ (kg)	$t$ (s)	$T_{gb}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_3$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_4$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$P_u$ (bar)	$m_{air}$
1	0,27	60	148	110	100,5	0,5	0,59
	0,27	60	150	115	104	0,5	0,59
	0,27	60	154	115	104,3	0,5	0,59
	0,27	60	158	115	104,5	0,5	0,6
	0,27	60	160	115	104,7	0,5	0,6
2	0,58	60	164	120	108,1	1	0,90
	0,58	60	168	120	108,4	1	0,90
	0,58	60	170	120	108,8	1	0,90
	0,58	60	172	125	112,7	1	0,90
	0,58	60	176	125	113,5	1	0,91

Perhitungan diambil dari hasil pengujian no. 1, sehingga diagram T-s pada boiler sebagai berikut:

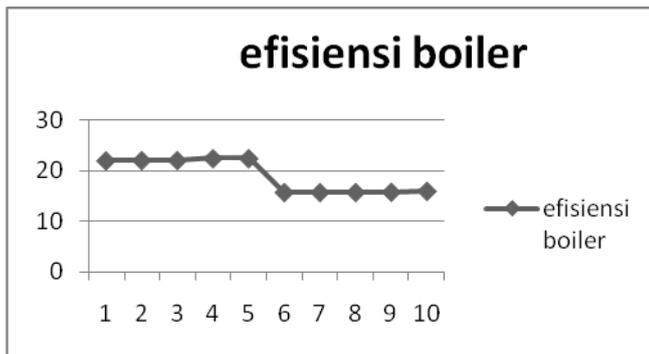


**Gambar 3. Diagram T-s pada pengujian no.1**

Dengan gambar T-s diagram yang dihasilkan didapatkan data-data sebagai berikut:

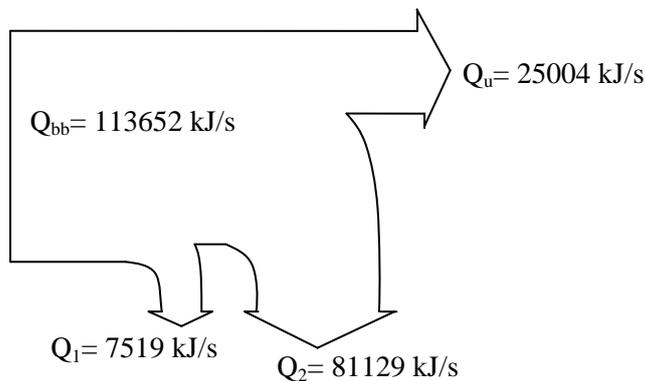
$$\begin{aligned} P_g &= 1 \text{ bar}, & T_2 &= 33^{\circ}\text{C} & v_f &= 0,001 \text{ m}^3/\text{kg} \\ P_{atm} &= 1 \text{ bar}, & T_3 &= 110^{\circ}\text{C} & m_{bb} &= 0,27 \text{ kg} \\ T_4 &= 100,5^{\circ}\text{C} & T_{ling} &= T_1 = 32^{\circ}\text{C}, \\ m_{air} &= 0,59 \text{ kg} & t &= 60 \text{ s}, \\ P_2 &= 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} & P_1 &= P_{atm} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Kemudian dengan melakukan perhitungan dari data yang didapatkan maka diperoleh efisiensi boiler dan ditabelkan sebagai berikut:



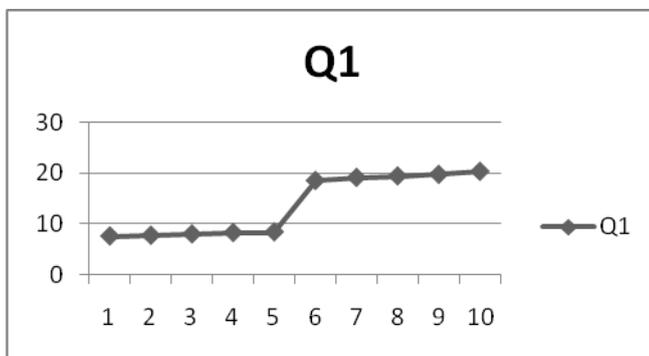
Gambar 4. Grafik efisiensi boiler

Adapun dari perhitungan rugi-rugi yang ada didapatkan diagram sankey sebagai berikut:

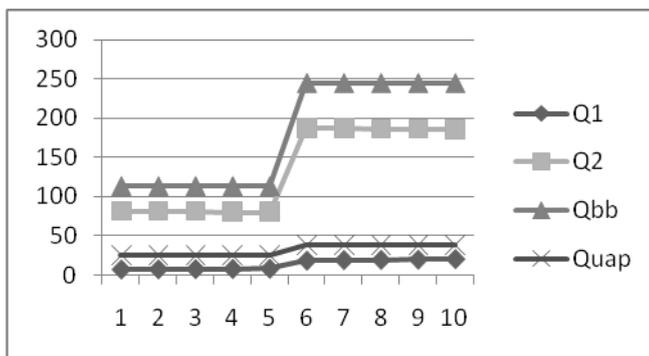


Gambar 5. Diagram sankey pengujian no. 1

Dari diagram sankey yang didapat, diperoleh table sebagai berikut :



Grafik 6. Grafik antara percobaan ke- dan fraksi uap



Grafik 7. Grafik antara percobaan ke- dan Q1, Q2, Qbb, serta Quap

Dari data pengujian, baik pada bukaan feeder yang pertama maupun yang kedua dari percobaan 1 sampai 5 didapatkan fenomena sebagai berikut:

- (1) Nilai  $\dot{m}_{\text{air}}$  dan  $T_4$  semakin besar itu mengakibatkan dalam perhitungan nilai  $Q_u$  besar pula,  $Q_u$  berbanding lurus dengan dengan efisiensi, sehingga dari percobaan 1 sampai 5 nilai efisiensinya semakin besar.
- (2) Pada hasil perhitungan nilai  $x$  kurang dari 1, artinya uap yang dihasilkan boiler dalam keadaan basah.
- (3) Nilai  $x$  semakin besar itu diakibatkan oleh semakin besarnya nilai  $T_4$  yang diperoleh dalam pengambilan data.

Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata nilai:

- (1)  $\dot{m}_{\text{air}} = 12.47 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}_{\text{bb}} = 70,833 \text{ kg/s}$ ,  $w_p = 10 \cdot 10^{-4} \text{ kJ/kg}$ ,  $Q_{\text{bb}} = 178,897 \text{ kJ/kg}$ ,  $Q_u = 31,879 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_{\text{boiler}} = 17,81964 \%$ , dan  $x = 0.973211$
- (2)  $Q_1 = 13.66643 \text{ kJ/kg}$  dan  $Q_2 = 133,35 \text{ kJ/kg}$ .

Nilai  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_{\text{bb}}$  dan  $Q_{\text{uap}}$  bertambah terus, dengan nilai pertambahan terbesar ketika dari percobaan ke-5 menuju ke-6, dikarenakan terjadinya perubahan nilai  $\dot{m}_{\text{bb}}$  dari bukaan pertama menjadi bukaan kedua.

Efisiensi rata-rata yang telah dicapai adalah sebesar 17,81964 % hal ini disebabkan oleh besarnya rugi-rugi yang mencapai 82,18036 %. Rugi-rugi tersebut diantaranya disebabkan oleh :

- (1) Kehilangan kalor pada cerobang atau kerugian kalor yang terbawa oleh gas asap kering sebesar 7.6393 %.
- (2) Rugi-rugi lain sebesar 73,5477 % diantaranya tidak semua bahan bakar terbakar sempurna, perpindahan panas dan rugi-rugi yang tidak teridentifikasi lainnya.

#### 4. KESIMPULAN

(1) Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata nilai:

- (1)  $\dot{m}_{\text{air}} = 12.47 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}_{\text{bb}} = 70,833 \text{ kg/s}$ ,  $w_p = 10 \cdot 10^{-4} \text{ kJ/kg}$ ,  $Q_{\text{bb}} = 178,897 \text{ kJ/kg}$ ,  $Q_u = 31,879 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_{\text{boiler}} = 17,81964 \%$ , dan  $x = 0.973211$   $Q_1 = 13.66643 \text{ kJ/kg}$  dan  $Q_2 = 133,35 \text{ kJ/kg}$ .
- (2) Uap yang dihasilkan oleh ketel ini adalah uap basah dengan nilai *dryness fraction* rata-rata sebesar 0.973211.
- (3) Nilai  $\dot{m}_{\text{air}}$  dan  $T_4$  berbanding lurus dengan nilai  $Q_u$  dan  $Q_u$  berbanding lurus dengan efisiensi.
- (4) Nilai  $x$  berbanding lurus dengan nilai  $T_4$ .
- (5) Penyebab rata-rata efisiensi 17,81964 % karena adanya kehilangan kalor ( $Q_1$  dan  $Q_2$ ).
- (6)  $Q_2$  (kehilangan panas yang tidak teridentifikasi) bisa berupa perpindahan panas bahan dan pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Heru Kuncoro, Samun Triyoko, Andreas Wahyu Hartono, Asmarani Eka Setiawan, (2007), *Pengaruh Komposisi Partikel Batubara Dan Prosentase Udara Primer Pada Pembakaran Batubara Serbuk (Pulverized Coal)*, Ekuilibrium, Vol 6, No. 1, Januari 2007, pp 6-14.
- Khasani dan Insan Nurrohman, (2007), *Studi Karakteristik Aliran Dua Fase Gas Padat (Udara-Serbuk Batubara) Pada Pipa Lurus Vertikal*, Jurnal Mesin dan Industri, Volume 4, No 1, Edisi Januari 2007, pp. 65-75.
- Nawafi F., Puspita R.D., Desna, Irzaman, (2010), *Optimasi Tungku Sekam Skala Industri Kecil Dengan Sistem Boiler*, Berkala Fisika Vol. 12, No. 3, Juli 2010, pp. 77-84.
- Sinarep, (2011), *Perancangan Reaktor Gasifikasi Batubara Pada Pengeringan Daun Tembakau Virginia Di NTB (Coal Gasifikasi Reactor Design On The Drying Of Tobacco Leaves In Virginia NTB)*, Volume 1, Nomer 2, Edisi Juli 2011.
- Sumaryono, Stefano Munir, Yenny Sofaeti, Nana Hanafiah, Tatang Koswara, Edi Somadi, Lely Agustina, E. Kokasih, Aat, (2006), *Modifikasi Boiler Industri Berbahan Bakar Minyak Menjadi Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Pembakaran Siklon*, Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara, Nomer 37, Tahun 14, pp 37-45.