

**ANALISIS PEMBAKARAN PADA *BOILER* KAPASITAS 260 TON/JAM  
DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS  
*ANALYSIS COMBUSTION A BOILER WITH CAPACITY OF 260  
TON/HOUR USING GAS FUEL***

**B. Pakpahan\*, C. Silalahi, D. Gultom, E. Sihombing, J. Simanjuntak, L. Munthe,  
P. Panjaitan, R. Lubis**

\*Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155  
Email korespondensi: beautypakpahan07@gmail.com

---

**ABSTRAK**

Gas alam adalah semua jenis bahan bakar yang berbentuk gas yang termasuk golongan bahan bakar fosil. Salah satu penggunaan gas alam yang tersedia di Indonesia adalah sebagai bahan bakar utama untuk *boiler* pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Gas alam yang berasal dari ladang gas mengandung hingga 75%-98% metana yang mengandung nilai kalor terendah atau *low heating value* (LHV) 36,600 kJ / Nm<sup>3</sup>-54,400 kJ / Nm<sup>3</sup>. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 4 di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan menggunakan bahan bakar gas sebagai bahan bakar pada *boilernya* yang secara aktual untuk menghasilkan uap 260.000 kg/jam dengan bahan bakar gas dengan temperatur air umpan 100°C dengan tekanan kerja 60 bar dan temperatur uap lanjut 500°C dengan efisiensi *boiler* 78% menghabiskan bahan bakar 114.600,192 kg/jam atau sama dengan 114,6 ton/jam.

**Keywords:** Gas alam, *boiler*, pembakaran, dan laju bahan bakar

**ABSTRACT**

*Coal, crude oil, and natural gas are all considered fossil fuels because they were formed from the buried remains of plants and animals that lived millions of years ago. Natural gas in Indonesia is as the main fuel for boilers in steam power plants (PLTU). Natural gas from gas fields contains up to 75% -98% methane which contains the lowest heating value (LHV) of 36,600 kJ / Nm<sup>3</sup>-54,400 kJ / Nm<sup>3</sup>. At unit 4 Steam Power Plant (PLTU) at PT PLN (Persero) the Belawan Power Plant Executing Unit uses natural gas as fuel in its boiler to actually produce 260,000 kg / hour of steam with gas fuel with feed water temperature of 100 °C with 60 bar working pressure and a further vapor temperature of 500 °C with a boiler efficiency of 78% consuming 114,600,192 kg / hour of fuel or equal to 114.6 tons/hour.*

**Keywords:** *Natural gas, boiler, combustion and fuel rate*

**PENDAHULUAN**

Gas alam adalah semua jenis bahan bakar yang berbentuk gas, biasanya bahan bakar gas ini termasuk golongan bahan bakar fosil. Gas alam berasal dari tambang gas atau minyak juga. Metana adalah komponen utama gas alam. Hal ini disertai dengan beberapa hidrokarbon lainnya dan gas tidak mudah terbakar. Gas dari ladang gas mengandung hingga 75-98% metana. Gas alam yang berasal dari ladang minyak mengandung 30-70% metana. Gas alam

memiliki nilai pemanasan yang tinggi. Lebih rendah nilai kalor (LHV) adalah 36,600-54,400 kJ / Nm<sup>3</sup> (Triyatno J., 2018; Yohana, E dan Askhabulyamin, 2012).

Adapun jenis-jenis gas pada umumnya yaitu gas bumi atau gas alam, gas tanas kokas, gas produser, dan gas air atau gas biru. Dari semua jenis-jenis gas tersebut gas yang dipakai untuk pembakaran pada *boiler* adalah gas alam atau gas bumi atau yang lebih dikenal dengan natural gas yang sudah diregasifikasi (Manunggal dan Slameto, 2019). Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 4 di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan menggunakan bahan bakar gas sebagai bahan bakar pada *boilernya*. Sehingga penulis mengkaji bagaimana itu proses pembakaran pada *boiler* dengan bahan bakar gas dengan menganalisis penggunaan bahan bakar gas.

## METODE PENELITIAN

Spesifikasi alat dan bahan bakar pada *boiler* yang akan dibahas pada tugas akhir ini sesuai dengan data yang terdapat pada PLTU UPK Belawan Unit 4 pada Gambar 1. sebagai berikut (Sulzer, Manual Book: General Remarks, 1991):

Merek	: Sulzer
Jenis	: <i>boiler</i> pipa air ( <i>water tube boiler</i> ).
Temperatur Uap	: 500°C
Kapasitas <i>Boiler</i>	: 260 Ton uap/Jam
Temperatur Air Pengisi <i>Boiler</i>	: 80°C - 100°C
Temperatur Udara	: 30°C at inlet <i>boiler</i>
Bahan Bakar	: <i>Liquid Natural Gas</i> (LNG)
Listrik	: 50 Hz, 3 Phase, 220/380 Volt
Tekanan Kerja	: 60 Bar
Efisiensi <i>Boiler</i>	: 78%



Gambar 1. *Boiler* pada PLTU Unit Pembangkitan Belawan  
Sumber: PT PLN (Persero) UPK Belawan, 2019)

## Data bahan bakar

Ada berbagai jenis bahan bakar yang sering dijumpai di berbagai pembangkit yaitu berupa bahan bakar padat (contohnya batu bara, kayu dan lain-lain), bahan bakar cair (contohnya minyak) dan bahan bakar gas (Budi S. N. 2014). Sedangkan bahan bakar yang digunakan pada *boiler* di PLTU UPK Belawan Unit 4 adalah gas dengan jenis *Liquified Natural Gas* (LNG) dengan jumlah kandungan unsur yang dapat dilihat dari Tabel 1 (PT PLN (Persero) UPK Belawan, 2019).

Tabel 1 persentase kandungan unsur *Liquified Natural Gas* (LNG)

Unsur	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Methane	CH <sub>4</sub>	90.2627
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.90950
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.12620
I-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.2619
N-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.3127
Neo-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0000
I-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.1112
N-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0597
Nitrogen	N <sub>2</sub>	0.6212
Karbon Dioksida	CO <sub>2</sub>	3.3100
Hidrogen Sulfida	H <sub>2</sub> S	0.0000
Hidrogen	H <sub>2</sub> O	0.0000
Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.0000
Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.0000
Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.0000
Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.0000
Decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0.0000

### Kebutuhan Bahan Bakar

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Triyatno. J., 2018):

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{\eta_b \cdot LHV} \quad (1)$$

Dimana:

- $\dot{m}_{bb}$  = laju pemakaian bahan bakar [kg/jam]
- $\dot{m}_u$  = kapasitas produksi uap [kg/jam]
- $h_u$  = entalpi air umpan [kJ/kg]
- $h_a$  = entalpi uap panas lanjut [kJ/kg]
- $\eta_b$  = efisiensi boiler

### Proses pembakaran

Pembakaran dapat terjadi apabila terdapat oksigen yang kontak langsung dengan bahan bakar, serta temperatur bahan bakar dapat disebabkan oleh tekanan atau reaksi kimia yang menghasilkan panas. Kecepatan pembakaran dan efisiensi pembakaran akan tergantung pada 3T, yaitu (Sinaga, R.D., 2015):

1. *Time* (Waktu)  
Setiap reaksi kimia memerlukan waktu tertentu untuk pembakaran bahan bakar harus diusahakan tetap berada pada zona pembakaran di dalam ruang bakar pada waktu yang cukup seluruh bahan bakar akan terbakar dengan sempurna.
2. *Temperatur*  
Agar proses pembakaran suatu zat dapat terjadi, maka temperatur dari zat tersebut harus berada pada suatu harga tertentu yang cukup untuk memulai terjadinya proses pembakaran.
3. *Turbulensi*  
Oksigen di dalam udara yang dialirkan ke ruang bakar ada kemungkinan dapat langsung mengalir ke cerobong tanpa kontak dengan bahan bakar. Hal semacam ini dapat dihindari dengan cara memusarkan aliran udaranya. Turbulensi udara akan membentuk percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar sehingga akan diperoleh proses pembakaran yang sempurna.

### Reaksi pembakaran

Reaksi pembakaran yang terjadi pada *boiler* adalah (Sinaga, R.D., 2015):

1. Reaksi pembakaran dengan menggunakan gas metana adalah  

$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 37.705,49 \text{ kJ/m}^3 \quad (2)$$
2. Reaksi pembakaran dengan menggunakan gas hidrogen adalah  

$$\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 12.079,17 \text{ kJ/m}^3 \quad (3)$$
3. Reaksi pembakaran dengan menggunakan bahan bakar karbon dioksida  

$$\text{CO}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 11.945.04 \text{ kJ/m}^3 \quad (4)$$
4. Reaksi pembakaran dengan menggunakan bahan bakar hidrogen sulfida  

$$\text{H}_2\text{S} + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 23.957,14 \text{ kJ/m}^3 \quad (5)$$

### Nilai kalor

Nilai kalor yang terjadi pada *boiler* adalah (Syamsir A. M., 1988):

1. Nilai Kalor (*Heating Value*) pada Bahan Bakar Gas  
 Nilai panas (kalor) dapat didefinisikan sebagai energi panas yang dilepaskan pada waktu terjadi oksidasi unsur-unsur kimia yang terdapat dalam bahan bakar. Nilai kalor itu sendiri terbagi atas dua bagian yaitu:
2. Nilai Kalor Tertinggi (*High Heating Value* atau HHV)  
 Kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan dan temperatur yang konstan, apabila air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran kembali menjadi cair  

$$\text{HHV} = 33950.C + 144200 \left( \text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8} \right) + 9400.S \quad (6)$$
3. Nilai Kalor Terendah (*Low Heating Value* atau LHV)  
 Merupakan nilai kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap atau air yang sama besarnya dengan nilai kalor tertinggi dikurangi kalor yang diperlukan oleh air yang terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari pembakaran  

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \quad (7)$$

Namun untuk bahan bakar gas sendiri telah diketahui jumlah nilai LHV (*Low Heating Value*) atau nilai kalor terendah dan juga HHV (*High Heating Value*) atau nilai kalor tertinggi pada bahan bakar gas, hal ini dapat dilihat pada Tabel 2 (Syamsir A. M, 1988).

Tabel 2 Komposisi bahan bakar gas dalam % volume

<i>Fuel</i>	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	HHV Kkal/m <sup>3</sup>	LHV Kkal/m <sup>3</sup>
<i>Coal gas</i>	27	7	48	13	3	2	7630	6920
<i>Town gas</i>	55	14	23	2.5	2	3.5	4670	4170
<i>Coke ovengas</i>	50	8	29	4	2	7	5100	4600
<i>Blast furnace gas</i>	4	28	-	-	8	60	9700	900
<i>Producer gas</i>	6	23	3	0.2	5	62	1200	1150

### Kebutuhan Energi Panas

Kebutuhan energi panas keluar pada *boiler* dapat dihitung dengan persamaan 8 sebagai berikut (Sinaga, R.D., 2015):

$$Q_B = m_u (h_u - h_a) \quad (8)$$

Dimana:

- $m_u$  = laju air umpan
- $h_u$  = entalpi spesifik keluar *boiler*
- $h_a$  = entalpi spesifik masuk *boiler*

### Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler adalah perbandingan antara energi panas masuk yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan steam dengan suplai panas. (Syamsir A. M, 1988). Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler adalah suatu prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masukan kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90% menggunakan persamaan 9 sebagai berikut (Alifiyah I.I., 2010; Djokosetyardjo, M.J., 1987):

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{m_{bb} \cdot LHV} \times 100\% \quad (9)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan Laju Pemakaian Bahan Bakar

Berdasarkan data yang didapat dari PT PLN (Persero) UPK Belawan maka data yang diperoleh dari lapangan antara lain:

$\dot{m}_u$	= 260.000 [kg/jam]
$\eta_b$	= 78%
T air umpan	= 100°C
$h_a$	= 419,1 [kJ/kg]
T uap panas lanjut	= 500 °C
P	= 60 Bar
$h_u$	= 3421 [kJ/kg]

Maka laju pemakaian bahan bakar pada boiler dapat dihitung sebagai berikut (Klein dan Alvarado, 1995):

$$\begin{aligned} m_{bb} &= \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{\eta_b \cdot LHV} \\ &= \frac{260.000 \text{ [kg/jam]} (3421 \text{ [kJ/kg]} - 419,1 \text{ [kJ/kg]})}{0,78 \times 6920 \text{ kJ/kg}} \\ &= 114.600,192 \text{ kg/jam} \\ &= 114,6 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

Jadi secara aktual untuk menghasilkan uap 260.000 kg/jam dengan bahan bakar gas dengan temperatur air umpan 100°C dengan tekanan kerja 60 bar dan temperatur uap lanjut 500°C dengan efisiensi boiler 78% menghabiskan bahan bakar 114.600,192 kg/jam atau sama dengan 114,6 ton/jam.

### Jumlah Panas Masuk pada Boiler

T air umpan	= 100°C
$m_{bb}$	= 114.600,192 kg/jam

Maka:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= m_{bb} \times LHV \\ &= 114.600,192 \text{ kg/jam} \times 6920 \text{ kJ/kg} \\ &= 793.033.328,64 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

### Jumlah Panas Keluar pada Boiler

$\dot{m}_u$	= 260.000 [kg/jam]
$h_a$	= 419,1 [kJ/kg] (nilai entalpi didapat dari tabel uap super panas)
$h_u$	= 3421 [kJ/kg] (nilai entalpi didapat dari tabel uap super panas)

Maka:

$$\begin{aligned} Q_B &= \dot{m}_u (h_u - h_a) \\ &= 260.000 \text{ [kg/jam]} (3421 \text{ [kJ/kg]} - 419,1 \text{ [kJ/kg]}) \\ &= 780.494.000 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

### Efisiensi Boiler

$$\begin{aligned} \eta_b &= \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \cdot LHV} \times 100\% \\ &= \frac{780.494.000}{793.033.328,64} \times 100\% \\ &= 98,42\% \end{aligned}$$

### Kebutuhan Udara Pembakaran

Komposisi udara terdiri dari kandungan nitrogen, dan oksigen dengan komposisi pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4 Komposisi udara (Syamsir, M.A., 1988)

No	Komposisi	% Massa	% Volume
1	Oksigen (O <sub>2</sub> )	23	21
2	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	77	79

Unsur-unsur kandungan bahan bakar yang terbakar yaitu:

1. Reaksi pembakaran metana  
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 37.705,49 \text{ kJ/m}^3$   
 Dengan persentase 90,2627 volume gas metana maka kalor yang dihasilkan dari pembakaran 1 m<sup>3</sup> gas metana adalah  $37.705,49 \times 0,902627 = 34.034 \text{ kJ}$
2. Reaksi pembakaran hidrogen  
 $\text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 12.079,17 \text{ kJ/m}^3$   
 Dengan persentase 1,82% volume gas hidrogen, maka kalor yang dihasilkan dari pembakaran 1 m<sup>3</sup> gas hidrogen adalah  
 $12.079,17 \times 0,0182 = 219,84 \text{ kJ}$
3. Reaksi pembakaran karbon dioksida  
 $\text{CO}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 11.945,04 \text{ kJ/m}^3$   
 Dengan persentase 3,310% volume karbon dioksida, maka kalor yang dihasilkan dari pembakaran 1 m<sup>3</sup> gas karbon dioksida adalah  
 $11.945,04 \times 0,0331 = 395,38 \text{ kJ}$
4. Reaksi pembakaran hidrogen sulfida  
 $\text{H}_2\text{S} + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 23.957,14 \text{ kJ/m}^3$   
 Dengan persentase 0% volume karbon dioksida, maka kalor yang dihasilkan dari pembakaran 1 m<sup>3</sup> gas hidrogen sulfida adalah  
 $23.957,14 \times 0 = 0 \text{ kJ}$   
 Nilai kalor total yang dihasilkan dari pembakaran 1 m<sup>3</sup> gas alam adalah  
 $Q_{\text{total}} = 34.034 \text{ kJ} + 219,84 \text{ kJ} + 395,38 \text{ kJ} = 34.649,220 \text{ kJ}$

### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap pembakaran pada boiler dengan menggunakan bahan bakar gas, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Prinsip kerja pada boiler pada PLTU Unit Pembangkitan Belawan yaitu dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan di ruang bakar (*furnace*) pada fluida kerja. Air sebagai awal fluida kerja yang dipanaskan hingga temperatur tertentu hingga mencapai uap kering (*superheat steam*) melalui berbagai tahap yang bersirkulasi didalam pipa-pipa boiler bahkan sampai pada boiler drum secara tertutup.
2. Secara aktual untuk menghasilkan uap 260.000 kg/jam dengan bahan bakar gas *liquefied natural gas* (LNG) dengan temperatur air umpan 100°C dengan tekanan kerja 60 bar dan temperatur uap lanjut 500°C dengan efisiensi boiler 78% menghabiskan bahan bakar 114.600,192 kg/jam atau sama dengan 114,6 ton/jam

## **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Politeknik Negeri Medan (POLMED). Penulis juga mengucapkan terima kasih pada dosen pembimbing Dr. Arridina Susan Silitonga, S.T., M.Eng. yang telah banyak memberikan pelatihan dan bimbingan tentang penulisan jurnal ini.

## **REFERENSI**

- Alifiyah I.I., 2010, Analisis efisiensi sistem pembakaran pada *boiler* di PLTU unit III PT PJB UP Gresik dengan metode *statistical process control* (SPC) dalam *perhitungan efisiensi boiler*, Surabaya
- Budi S. N. 2014. Pemanfaatan LNG sebagai sumber energi di Indonesia dalam *pendahuluan*, PT Cipta Reka Mandiri, Jakarta
- Djokosetyardjo, M.J., 1987, Ketel Uap, Pradnya Paramita, Jakarta
- Klein dan Alvarado, 1995, *Property Table and Charts*, ASHRAE Trans
- Manunggal, B.P., Slameto. 2019. Studi Sistem Bahan Bakar Gas Pada Superheater Untuk Pengembangan Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Energi*. Vol. 9, No.1. 64-72, POLBAN
- PT PLN (Persero) UPK Belawan, 2019, Buku Panduan Tenaga Uap. PUSDIKLAT PLN. Medan
- Sinaga, R.D., 2015. Analisis pemakaian air *heater* terhadap peningkatan efisiensi *boiler* Unit 3 PT.PLN (Persero) Sektor Belawan dalam *tinjauan umum boiler*, Medan
- Sulzer, Manual Book: General Remarks, 1991, *Type: TTMC 150 – 4*, PT.PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan
- Syamsir, M.A., 1988, Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap), Rajawali Pers. Jakarta
- Triyatno. J., 2018, Perbandingan Penggunaan Gas Alam Terhadap LPG Dalam Memenuhi Kebutuhan Rumah Tangga di Bontang, *Al Ulum Sains dan Teknologi*, Vol.4, No.1, 14-20. UNISKA
- Yohana, E dan Askhabulyamin, 2012, Perhitungan efisiensi dan konversi dari bahan bakar solar ke gas pada *boiler* Ebara HKL 1800 KA dalam *perumusan dan efisiensi ketel*, Semarang