

# ANALISIS KEBUTUHAN BAHAN BAKAR TERHADAP PERUBAHAN TEKANAN UAP

Qamaruddin<sup>1)</sup> Muhammad Ilyas Sikki<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Fakultas Teknik, Universitas Islam "45" Bekasi, Email :Qomarudin.q@gmail.com

<sup>2)</sup>Fakultas Teknik, Universitas Islam "45" Bekasi, Email : ilyas.sikki@gmail.com

## Abstrak

*Pada dunia industri terutama pada sektor produksi makanan, banyak yang menggunakan alat penukar kalor sebagai salah satu media untuk salah satu cara menghemat pemakaian bahan bakar yang dilakukan. Dengan pemasangan alat penukar kalor yang dipasang pada ekonomiser dengan pemakaian bahan bakar solar (HSD) sebesar 50% sampai dengan 100%. Jenis alat penukar kalor yang pasang adalah jenis shell and tube. Dengan memanfaatkan gas buang untuk pemanasan boiler, akan menakibatkan tingkat efisiensi boiler menjadi lebih tinggi dan juga dapat menghemat kebutuhan bahan bakar. Uap panas yang terbuang dimanfaatkan untuk pemanasan air pada alat penukar kalor sebesar 103 °C sementara uap panas yang terdapat di boiler sebesar 249 °C, dalam hal ini pemanasan boiler dapat terbantu oleh uap panas yang keluar dari alat penukar kalor. Dengan pengaturan beberapa variasi tekanan uap yaitu : 5,7 bar, 5,8 bar, 6 bar, 6,2 bar, 6,4 bar yang diatur pada boiler sehingga kita dapat menentukan atau memprediksi kebutuhan bahan bakar pada burner.*

**Kata sandi : Shell and tube, Boiler, uap panas, penghematan bahan bakar**

## I. PENDAHULUAN

### 1.1.Latar belakang

Proses pembakaran adalah proses reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidator dengan melibatkan pelepasan energi dalam bentuk panas dalam jumlah yang signifikan. Pembakaran merupakan bagian sangat penting dalam kegiatan industri yang memanfaatkan bahan bakar sebagai sumber energi. Saat ini hampir semua industri melibatkan proses pembakaran sebagai salah satu unit penyedia energi dalam sistem utilitasnya. Beberapa industri bahkan menggunakan pembakaran sebagai unit utamanya (<http://www.lemigas.esdm.go.id/id/prdkpenelitian-265-.html>).

Seiring dengan berkembangnya zaman yang bersamaan dengan kemajuan teknologi dan industri proses produksi, dimana perkembangan itu nampak dengan adanya faktor penunjang didalam produktifitas perusahaan. Semakin banyaknya produsen suatu perusahaan yang menempati skala besar, hampir 80 % ketel uap masih tetap dominan untuk dipergunakan (Disnakertrans Kab.Bekasi,bagian pengawasan dan keselamatan ,2011).

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90% (Intan Alifiyah Ilmi, Ya'umar, ITS-Undergraduate-12709-Paper).

Usaha – usaha yang dapat dilakukan guna mendapatkan biaya operasi yang ekonomis adalah dengan pergantian pemakaian bahan bakar. Pengoptimalan efisiensi dan pemeliharaan boiler yang sudah ada. Dari beberapa usaha tersebut pergantian pemakaian bahan bakar merupakan alternatif yang dapat ditempuh untuk dilakukan (Cahyo Adi Basuki<sup>[1]</sup>, Ir. Agung Nugroho<sup>[2]</sup>, Ir. Bambang Winardi<sup>[2]</sup>. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro).

Ketel uap (*Boiler*) sering dipakai sebagai mesin produksi baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Ketel uap (*Boiler*) adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap (*steam*). Untuk menghasilkan panas yang digunakan dalam pemanasan air tersebut diperlukan bahan bakar yaitu solar (HSD).

Tempat bahan bakar untuk proses pembakaran yaitu pada burner. Tingkat kebutuhan bahan bakar sangat menentukan laju perekonomian produksi suatu perusahaan atau instansi, selain dari tinjauan ekonomi tingkat efisiensi ketel uap (*boiler*) juga akan berpengaruh. Sehingga ada suatu hubungan antara tingkat efisiensi ketel uap (*boiler*) dengan pemakaian bahan bakar yang perlu diteliti.

Faktor gas asap ini juga dapat dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur air umpan sebelum dimasukkan ke dalam Drum/Ketel, sehingga pemakaian bahan bakarnya lebih hemat untuk menghasilkan uap yang digunakan dalam proses produksi.

### 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis kebutuhan bahan bakar yang diperlukan dengan memanfaatkan gas asap panas hasil pembakaran pada ketel uap.

### 1.3. Batasan Masalah

1. Tekanan uap diatur pada 5,7 bar dengan laju aliran massa 2552 kg/h.
2. Tekanan uap diatur pada 5,8 bar dengan laju aliran massa 3006 kg/h.
3. Tekanan uap diatur pada 6 bar dengan laju aliran massa 3496 kg/h.
4. Tekanan uap diatur pada 6,2 bar dengan laju aliran massa 3958 kg/h.
5. Tekanan uap diatur pada 6,4 bar dengan laju aliran massa 4486 kg/h.

### 1.4. Tujuan Penelitian

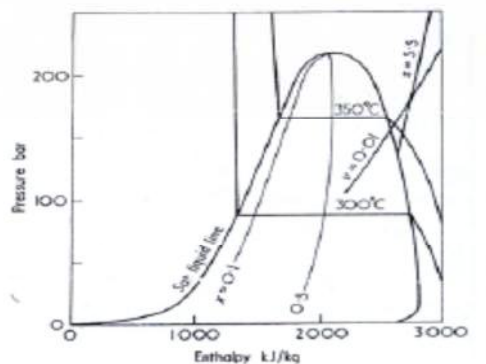
Memprediksi kebutuhan bahan bakar yang digunakan dengan tekanan uap yang berbeda.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

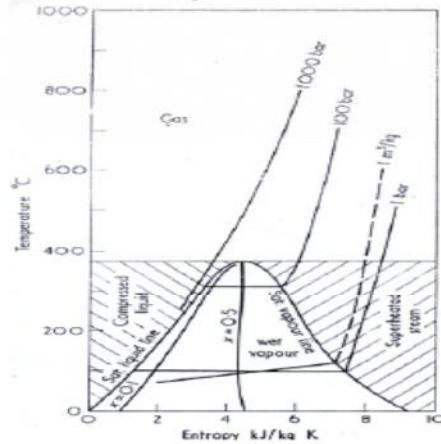
### 2.1. Siklus Dasar Pembentukan Uap

#### 2.1.1. Perubahan Fase

Bila panas diberikan pada suatu zat pada tekanan konstan, maka biasanya, hasilnya adalah kenaikan temperatur zat. Namun, kadang-kadang zat dapat menyerap panas dalam jumlah yang besar tanpa mengalami perubahan apapun pada temperaturnya (Tipler, 1998:16). Ketika air diberikan energi panas dengan tekanan yang konstan, temperaturnya akan naik dan air akan mendidih. Panas ini dikenal dengan *sensible heat*. Temperatur air pada titik ini dinamakan temperatur jenuh, tekanan yang diberikan air disebut tekanan jenuh, dan uap yang dihasilkan merupakan uap basah. Air diubah menjadi uap pada temperatur konstan dan energi yang diberikan selama terjadinya perubahan fase ini dikenal dengan entalpi uap ( dikenal dengan diagram  $p-h$  ) seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.1, dan panas yang diperlukan untuk merubahnya dikatakan panas laten. Uap yang tidak lagi mengandung air dikatakan uap jenuh (uap kering), yang apabila dipanasi terus - menerus dengan tekanan konstan akan menghasilkan uap dengan temperatur diatas titik jenuhnya. Uap ini dinamakan uap *superheated*. Gambar 2.2 memperlihatkan bentuk umum dari diagram temperatur entropi, dan dikenal dengan diagram  $T-s$ .

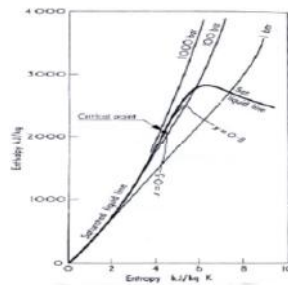


Grafik 2.1 Diagram  $p-h$  ( *pressure - enthalpy* )



Grafik 2.2 Diagram *T-s* ( *temperature – entropy* )

Bentuk umum dari diagram entalpi - entropi ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah.

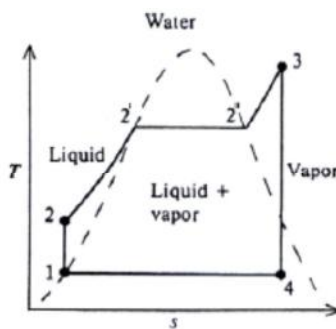


Grafik 2.3 Diagram *enthalpy - entropy* ( *h-s* )

Pemanasan uap *superheated* diatas temperatur titik kritisnya tekanan sebesar 22 bar ( 3206 psi) dan temperatur sebesar 374 °C (705,4 °F) akan menghasilkan gas. Sebagai contoh, pada tekanan konstan panas yang ditransmisikan dari uap *superheated* temperaturnya akan menurun hingga telah mencapai titik jenuhnya. Pada keadaan ini temperaturnya akan tetap konstan sampai keseluruhan uap dikondensasikan.

**2.1.2. Siklus Termodinamika**

Disusun oleh serangkaian proses perubahan energi panas yang mengembalikan kerja fluida ke bentuk asalnya. Selama terjadinya proses, satu bagian daya biasanya berlangsung konstan. Hal ini termasuk *isothermal* (temperatur konstan), *isobaric* (tekanan konstan), *isometric* (volume konstan), *isentropi* (entropi konstan), *adiabatic* (tidak ada perpindahan panas), dan *throttling* (entalpi konstan).



Grafik 2.4 Siklus uap *Rankine*

Siklus termodinamika dasar untuk uap adalah siklus *Rankine*, yang mencakup pemampatan isentropik, penambahan panas isobarik, pembesaran isentropik, dan yang terakhir pembuangan panas isobarik. Siklus *Rankine* untuk sistem fluida ditunjukkan gambar 2.4 pada diagram *T-s*.

Perubahan fase siklus dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Proses 1-2 adalah proses adiabatik dimana pompa bekerja, yaitu keadaan perubahan temperatur pada entropi yang tetap (isentropik). Pada pompa terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi panas dan menyebabkan adanya kenaikan temperatur.
- b. Proses 2-3 adalah proses penambahan panas pada tekanan yang sama (isobarik) yang muncul pada boiler; dimana pada segmen 2-2' terjadi kenaikan temperatur dengan adanya pemanasan air hingga mencapai titik didihnya yang diikuti oleh kenaikan entropi. Segmen 2'-2'' adalah fase pendidihan yang berlangsung pada temperatur konstan. Kenaikan entropi dikarenakan adanya penambahan energi panas selama terjadinya proses. Pada segmen 2''-3, uap telah mencapai temperatur diatas titik jenuhnya, dikenal dengan uap *superheated*.
- c. Proses 3-4 adalah keadaan adiabatik pada turbin. Pada proses pemanasan produk, terjadi perpindahan panas dari tabung uap ke produk, sehingga uap akan mengalami penurunan temperatur.

Untuk merubah satu kilogram air menjadi satu kilogram uap dibutuhkan panas laten dan *sensible heat*. Semakin tinggi tekanan uap, semakin besar pula temperatur pendidihan yang dibutuhkan. Semua boiler tidak bekerja pada keadaan tekanan dan temperatur air pengisian yang sama, tetapi bentuk perbandingan untuk kondisi ini dapat ditentukan. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg air pada temperatur 100 °C dan tekanan absolut 1 bar ( 14,7 psia ) adalah 970,3 Btu ( *British thermal unit* ).

## 2.2. Ketel Uap

Ketel uap ialah suatu pesawat yang dibuat guna menghasilkan uap yang dipergunakan diluar pesawatnya (Peraturan Uap 1930). Didalam dapur (*Furnace*), energi kimia dari bahan bakar dirubah menjadi panas melalui proses pembakaran dan panas yang dihasilkan sebagian besar dipindahkan ke air melalui proses perpindahan panas didalam ketel, sehingga pengaruh dari proses pemanasan tersebut air berubah menjadi uap.

### 2.2.1 Sistem kerja Ketel Uap

Ketel Uap/*Boiler* adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, tekananya akan meningkat dan menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga ketel uap/*boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Sistem ketel uap/*boiler* terdiri dari:

- a. Sistem air umpan
- b. Sistem *steam* / uap
- c. Sistem bahan bakar

#### a. Sistem air umpan

Sistem air umpan menyediakan air awal untuk ketel uap/*boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai peralatan disediakan untuk keperluan pengisian air kedalam ketel uap/*boiler* antara lain Pompa air, valve, pelampung otomatis, tangki penampung, deaerator, tangki softener, bak proses regenerasi, panel kontrol, manometer, termometer.

#### b. Sistem *steam* / uap

Uap (*steam*) dalam pembicaraan selanjutnya dimaksudkan uap air yaitu uap yang timbul akibat perubahan fase air ( cair ) menjadi uap dengan cara pendidihan ( *boiling* ). Untuk melakukan proses pendidihan diperlukan energi panas yang diperoleh dari sumber panas , misalnya dari pembakaran bahan bakar ( padat, cair, dan gas ) tenaga listrik dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir. Penguapan bisa saja terjadi disembarang tempat dan waktu pada tekanan normal , bila diatas permukaan zat cair tekanan turun dibawah tekanan mutlak. Uap yang dihasilkan dengan cara

demikian tidak mempunyai energi potensial, jadi tidak dapat digunakan sebagai sumber energi. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam ketel uap. Steam dialirkan ke *Steam header* dan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan *valve* dan dipantau dengan alat pemantau tekanan (Manometer).

**c. Sistem Bahan bakar**

Sistem bahan bakar adalah semua *equipment* atau peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar boiler. Peralatan yang digunakan tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan boiler. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar cair yaitu solar

**2.3.LMTD (Log Mean Temperature Different)**

Adalah beda suhu rata-rata log yaitu beda suhu pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung satunya di bagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda suhu tersebut.

$$LMTD = \frac{(T_{g_{in}} - T_{w_{out}}) - (T_{g_{out}} - T_{w_{in}})}{\ln\left(\frac{T_{g_{in}} - T_{w_{out}}}{T_{g_{out}} - T_{w_{in}}}\right)} \quad (2.1)$$

(Holman.J.P.,Jasjfi.E.(1997).*Perpindahan Kalor*, Jakarta:Erlangga)

Keterangan :

- T<sub>g<sub>out</sub></sub> : Temperatur gas keluar (°C)
- T<sub>g<sub>in</sub></sub> : Temperatur gas masuk (°C)
- T<sub>w<sub>out</sub></sub> : Temperatur air keluar (°C)
- T<sub>w<sub>in</sub></sub> : Temperatur air masuk (°C)

**2.4.Laju perpindahan kalor (q̇)**

Panas dialirkan secara konveksi dari *fluida* panas kedinding pipa, kemudian panas dikonduksikan melalui dinding pipa dan dikonveksikan kembali dari dinding pipa ke *fluida* dingin pada sisi dalam pipa. Perpindahan panas ini terjadi dikarenakan adanya perbedaan temperatur antara aliran *fluida* panas dan *fluida* dingin. Untuk menentukan laju perpindahan panas/Laju perpindahan kalor (q̇) yang terjadi, perlu ditentukan harga koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), sehingga diperoleh q̇ sebesar :

$$\dot{q} = U \times A \times LMTD \quad (2.2)$$

Dimana:

- (U) = harga koefisien perpindahan panas menyeluruh
- U = 135,6 KW/ m<sup>2</sup>.°C
- A = 103,2 m<sup>2</sup>

**2.5.Menghitung kebutuhan bahan bakar yang digunakan**

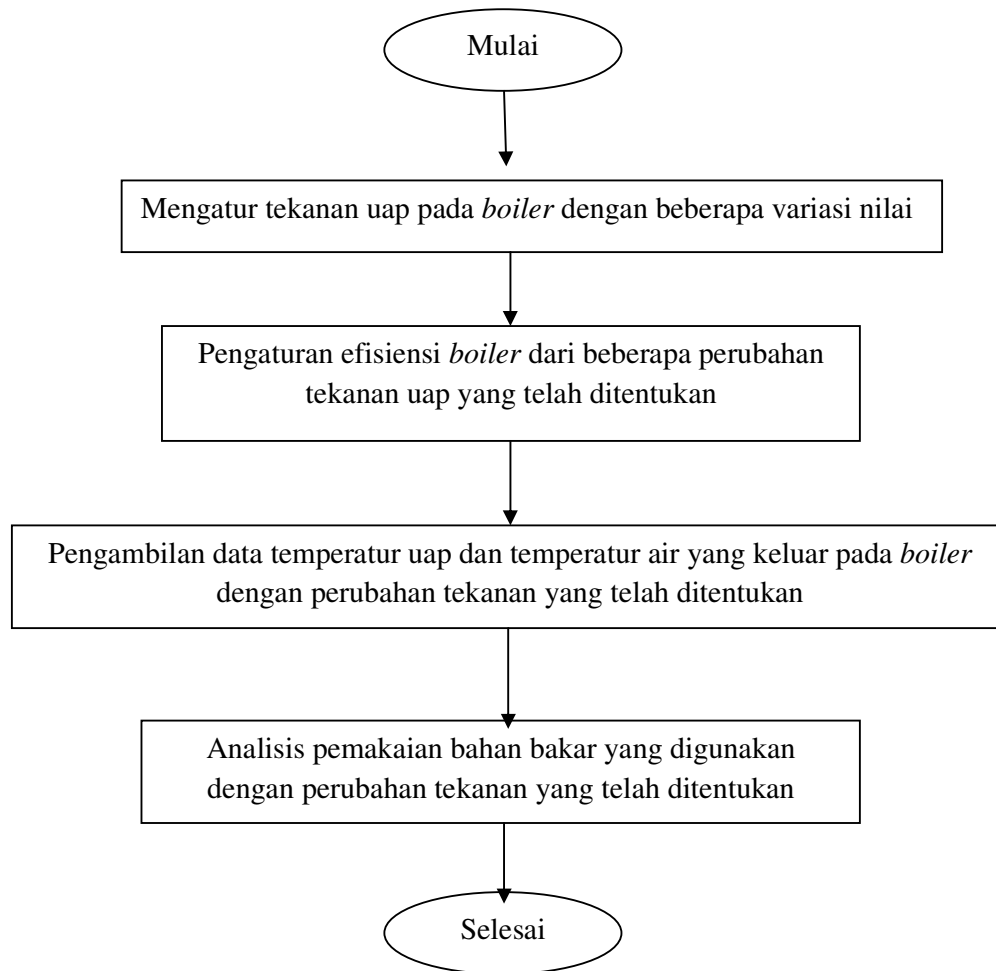
$$m_{bbm} = \frac{\dot{q}}{H_u} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- m<sub>bbm</sub> = kebutuhan bahan bakar (L/h)
- q̇ = Laju perpindahan kalor kW
- H<sub>u</sub> = Net calorific value /nilai kalor bersih(kJ/kg)
- G<sub>fuel</sub> = Laju Kebutuhan bahan bakar
- G<sub>cv</sub> = Gross Calorific Value (kJ/kg)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Alur penelitian yang akan dilakukan



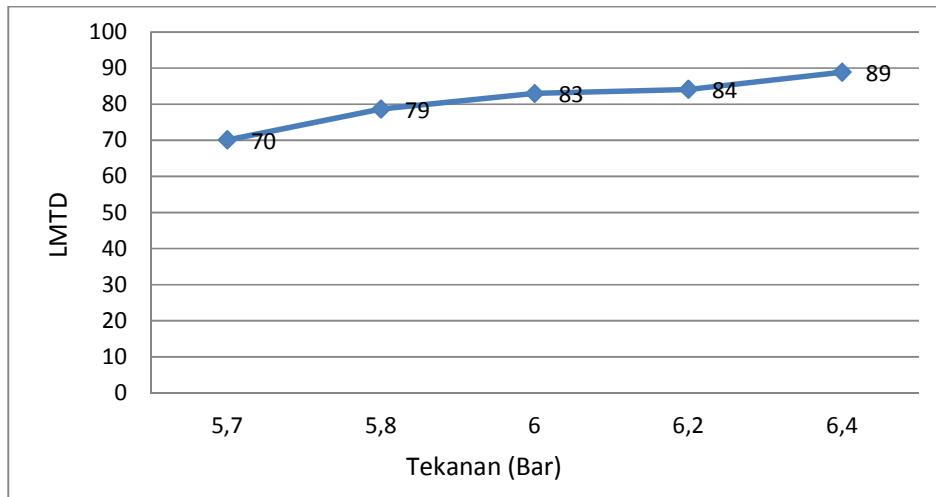
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan LMTD

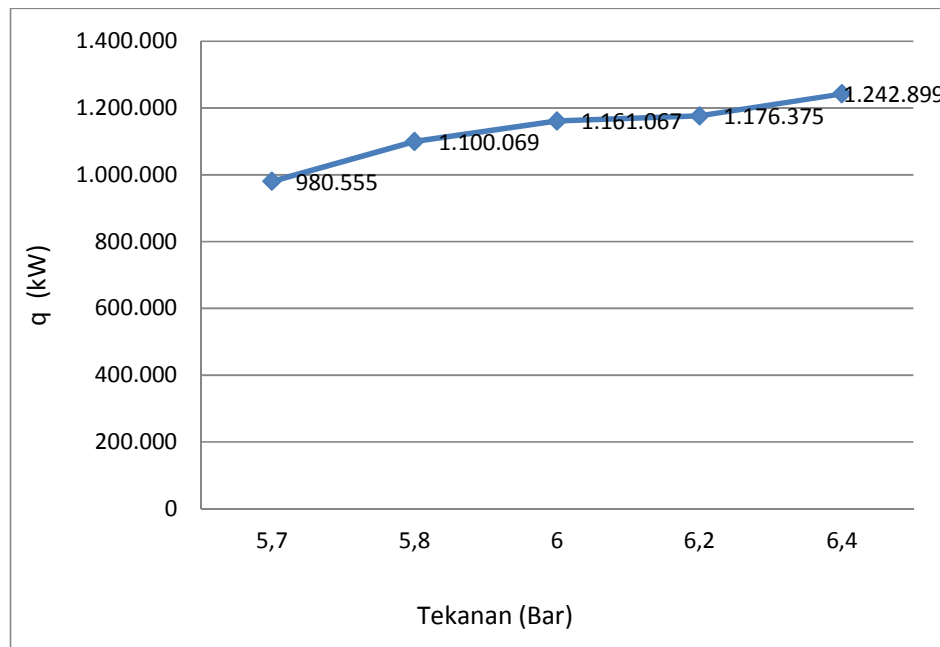
Dari beberapa hasil pengukuran di peroleh data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil pengukuran temperatur gas dan air umpan

$\dot{m}$	Tekanan	$T_{\text{gas in}}$	$T_{\text{gas out}}$	$T_{\text{water in}}$	$T_{\text{water out}}$
kg/jam	bar	°C	°C	°C	°C
2552	5,7	218	160	103	133
3006	5,8	228	168	103	134
3496	6	230	175	103	135
3958	6,2	231	177	103	136
4486	6,4	240	179	103	137



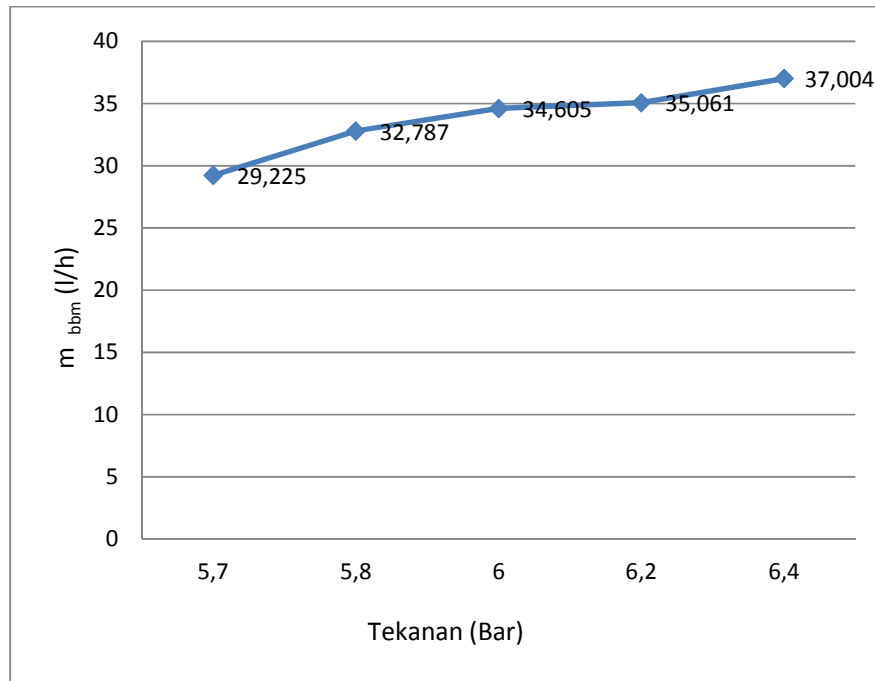
Grafik 4.1 (Grafik hubungan LMTD dengan tekanan)



Grafik 4.2 (Grafik hubungan laju perpindahan kalor dengan tekanan)

Tabel 4.2 Penggunaan bahan bakar terhadap masing-masing tekanan uap

Tekanan uap (Bar)	Penggunaan bahan bakar (l/h)
5,7	29.225
5,8	32.787
6	34.605
6,2	35.061
6,4	37.004



Grafik 4.3 (Grafik hubungan antara tekanan dengan penggunaan bahan bakar per jam)

## V.KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1.KESIMPULAN

- 1) Tekanan uap semakin tinggi maka kebutuhan bahan bakar yang digunakan juga semakin meningkat
- 2) Kebutuhan bahan bakar meningkat sementara temperatur air umpan dijaga konstan, jika temperatur air umpan di tingkatkan maka akan terjadi penurunan bahan bakar.

### 5.2.Saran

- 1) Perlu adanya alat penukar kalor yang layak, sesuai dengan sistem siklus tersebut.
- 2) Alat indikator pengukuran (temperatur, tekanan) harus digital agar memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Djokosetyarjo.M.J.(2006).*Ketel Uap*, Jakarta:Pradnya Paramita.
- [2]. Holman.J.P.,Jasjfi.E.(1997).*Perpindahan Kalor*, Jakarta:Erlangga.
- [3]. Kern,D.Q.(1950).*Process Heat Transfer*,International StudentEdition:McGraw-Hill.
- [4]. LOOS International (2010).*Operating Instruction, Germany*.
- [5]. Loodwit Ordonantie.1931.No.509.Undang Undang & Peraturan Uap 1930. Jakarta: Disnakertrans.
- [6]. Michel.A.Saad(2000).*Termodinamika,Prinsip dan Aplikasi*, Edisi Bahasa Indonesia, Jilid 1,Jakarta:PT Prenhallindo.
- [7]. Yunus A.Cengel and Michael A.Boles (2002).*Thermodynamics an Engineering Approach*, Fourth Edition :McGraw-Hill.
- [8]. Kakać, Hongtan Liu (2002).*Heat Exchangers selection,Rating and Thermal Design* ,CRC press.
- [9]. Ramesh K. Shah and Dušan P,Sekulić (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*,John Wiley &sons ,inc
- [10]. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-12709-Paper.pdf>
- [11]. <http://eprints.undip.ac.id/25596/1/ML2F004464.pdf>
- [12]. <http://www.lemigas.esdm.go.id/id/prdkpenelitian-265-.html>