

**RANCANGAN KONSTRUKSI PIPA WATERWALL  
DENGAN KAPASITAS UAP 20 TON/JAM  
TEKANAN 20 KG/CM<sup>2</sup> DAN TEMPERATUR 211,28 °C**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Gelar Sarjana Teknik  
Dalam Program Studi Teknik Mesin**

**Oleh :**

**SUPO SISWORO  
02.813.0027**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
2007**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

## ABSTRACTION.

Steaming kettle ( Steam Boiler) constitute an inseparable part of a process of processing and oil purification. This matter is based on principle Insidental from Mechanical process, Phisis, and Kimiawi. [At] Steaming kettle of forming speed condense determined by wide area of boiler heater. Equipments from wide heater area at steaming kettle cover the

1. Heater area to yield the saturated vapo(u)r
2. Heater area to yield the hot vapour continue the
3. Heater area to heat air

Bases to get the fuel consumption based on a combustion value under, cause to get a correct value from a combustion result which minimum and to make balance to the mistake will result of in estimation which direncakan.

To get the comparison among/between both types of fuel, generally comparison Consume the fuel to set of same to weight : Fiber fuel compare the fuel Cangkang = 3 : 1

Space burn a space where happened the process of fuel combustion utilize to get the heat to alter the water become the vapour. Form the space burn planned the in form of persegi and located kitchen wall heater pipe ( water wall) passed by by water.

Upper pipe of water wall interfaced to drum for with the system of extension roll and undercarriage jointed to header with the system of extension las Part of pipe of Water Wall consisted of the

1. pipe of Water wall frontage
2. pipe of Water wall backside
3. pipe of Water wall from other side the right
4. pipe of Water wall from other side left

Pressure ( P) in pipe generate the interesting tension tagensial which do not flatten. This tension maximum diameter in ( Di) And minimum diameter mar ( DO).

## ABSTRAK

Ketel uap (Steam Boiler) merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu proses pengolahan dan pemurnian minyak. Hal ini didasarkan kepada prinsip Insidental dari proses Mekanis, Phisis, dan Kimiawi. Pada Ketel uap kecepatan pembentukan uap ditentukan oleh luas bidang pemanas ketel. Peralatan dari luas bidang pemanas pada ketel uap meliputi :

1. Bidang pemanas untuk menghasilkan uap jenuh;
2. Bidang pemanas untuk menghasilkan uap panas lanjut;
3. Bidang pemanas untuk memanaskan udara.

Basis untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar didasarkan kepada nilai pembakaran bawah, sebab untuk mendapatkan suatu nilai yang tepat dari suatu hasil pembakaran yang minimum dan untuk mengimbangi akan kesalahan hasil dalam estimasi yang direncanakan.

Untuk mendapatkan perbandingan antara kedua jenis bahan bakar, umumnya perbandingan Konsumsi bahan bakar untuk satuan berat yang sama adalah : Bahan bakar serabut banding bahan bakar Cangkang = 3 : 1

Ruang bakar suatu ruang dimana terjadi proses pembakaran bahan bakar guna mendapatkan panas untuk mengubah air menjadi uap. Bentuk ruang bakar direncanakan berbentuk persegi dan pada dinding dapur terletak pipa-pipa pemanas (water wall) yang dilalui oleh air.

Bagian atas pipa water wall dihubungkan ke drum atas dengan sistem sambungan roll dan bagian bawah disambungkan ke header dengan sistem sambungan las.

Bagian pipa Water Wall terdiri dari :

1. Pipa water wall bagian depan;
2. Pipa water wall bagian belakang;
3. Pipa water wall samping kanan;
4. Pipa water wall samping kiri.

Tekanan (P) dalam pipa menimbulkan tegangan tarik tagensial yang tidak merata. Tegangan ini maksimum pada diameter dalam (Di) dan minimum pada diameter luar (DO).

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Perencanaan.....	2
1.3 Fungsi Pipa Waterwall.....	2
1.4 Metobologi.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Pengertian Umum Katel Uap.....	4
2.2 Klasifikasi Katel Uap.....	4
2.3 Pemilihan Katel Uap.....	6
2.4 Proses Terbentuknya Uap.....	7
2.5 Distribusi Penggunaan Uap.....	9
2.6 Prinsip Kerja Pipa Waterwall.....	12
<b>BAB III ANALISA KALOR BAHAN BAKAR.....</b>	<b>15</b>
3.1 Bahan Bakar.....	15
3.2 Nilai Kalor Bahan Bakar.....	15
3.3 Kebutuhan Udara Pembakaran.....	18
3.4 Analisa Gas Asap.....	22

<b>BAB IV RANCANGAN KONTRUKSI PIPA WATERWALL.....</b>	<b>31</b>
4.1 Ruang Bakar.....	31
4.2 Pipa Waterwall.....	33
4.3 Bidang Pemanas Ruang Bakar.....	49
<b>BAB V ANALISA DAN KEKUATAN PIPA WATERWALL.....</b>	<b>64</b>
<b>BAB VI KESIMPULAN.....</b>	<b>66</b>

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**GAMBAR KERJA**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara yang sedang berkembang dan menuju negara industri pada saat ini negara kita sedang membangun dan mengembangkan industri. Untuk mencapai hal tersebut maka disusunlah suatu rancangan tahap-tahap pembangunan dimana setiap saat merupakan kelanjutan dan pengembangan dari tahap pembangunan terdahulu.

Sebagaimana diketahui bahwa sektor pembangunan merupakan salah satu sektor yang paling menunjang pertumbuhan ekonomi yang cukup besar disamping minyak dan gas bumi.

Daerah Sumatera Utara adalah salah satu daerah perkebunan yang luas dan salah satu komoditi yang dihasilkan dari perkebunan Sumatera Utara yang paling dominan adalah kelapa sawit. Dimana dari kelapa sawit tersebut dapat diperoleh minyak kelapa sawit dan minyak inti sawit.

Media panas yang diinginkan pada pengolahan kelapa sawit adalah uap. Uap tersebut dihasilkan dari ketel uap. Selain untuk pengolahan kelapa sawit, uap yang dihasilkan oleh ketel digunakan untuk menggerakkan turbin uap sebagai penggerak generator yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Adapun spesifikasi tugas yang diberikan kepada penulis adalah rancangan salah satu bagian konstruksi utama ketel uap yaitu salah satu pipa waterwall untuk

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang  
menghasilkan uap saturasi.

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

## 1.2 Tujuan Rancangan

Adapun tujuan dari penulisan ini antara lain :

- a. Untuk mengetahui sistim kerja dari suatu ketel uap yang memproduksi uap digunakan untuk pengolahan kelapa sawit;
- b. Untuk menentukan ukuran-ukuran pipa waterwall dan dapur;
- c. Untuk mengetahui jumlah pemakaian bahan bakar/jam;
- d. Untuk mengetahui dan menganalisa tegangan serta kekuatan pipa waterwall.

## 1.3 Fungsi Pipa Waterwall

Adapun fungsi dari pipa waterwall adalah sebagai media pemanas air untuk membentuk uap saturasi dan juga berfungsi sebagai dinding ruang bakar.

## 1.4 Metodologi

Dalam menyusun tugas akhir ini penulis melaksanakan pembahasan dengan dua metode yaitu :

- a. Studi kepustakaan;
- b. Studi lapangan.

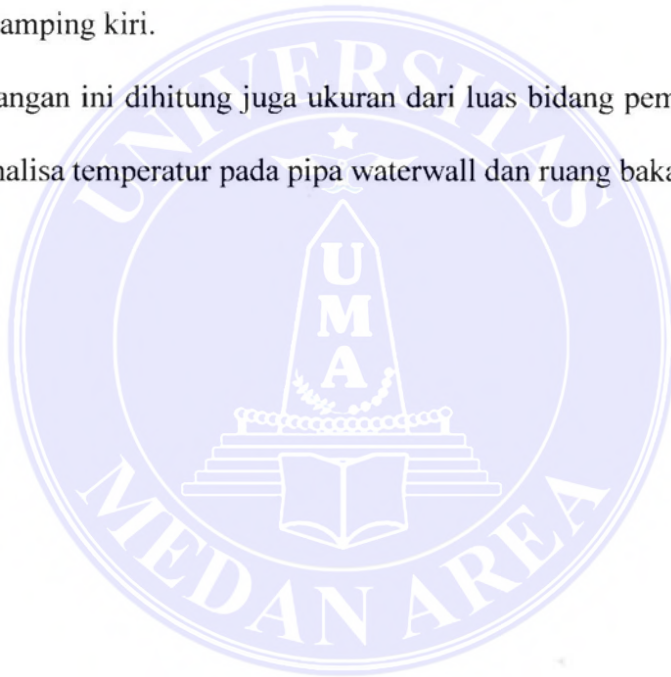
Studi kepustakaan dilakukan dengan cara pengumpulan bahan-bahan dengan cara survey lapangan, melalui survey ini penulis dapat mengambil secara langsung objek yang akan dibahas serta mencatat data yang dipakai dan berdialog langsung dengan operator dan stap-stap yang menangani ketel uap. Survey lapangan ini dilakukan dipabrik kelapa sawit PT. Sumber Sawit Makmur jalan

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam perencanaan ini analisa perhitungan dibatasi hanya ukuran-ukuran pipa waterwall atau dimensi pipa waterwall yaitu :

- a. Pipa waterwall bagian depan;
- b. Pipa waterwall bagian belakang;
- c. Pipa waterwall samping kanan;
- d. Pipa waterwall samping kiri.

Dalam rancangan ini dihitung juga ukuran dari luas bidang pemanas pada ruang bakar serta analisa temperatur pada pipa waterwall dan ruang bakar.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Umum Ketel Uap

Ketel uap (*Steam Boiler*) merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu proses pengolahan dan pemurnian minyak.

Hal ini didasarkan kepada prinsip *incidental* dari proses : mekanis, phisis dan kimiawi.

Pengadaan unit ketel uap juga membawa dampak positif terhadap pengadaan pembangkit listrik tenaga uap untuk kebutuhan pabrik. Hal ini didasarkan kepada proses oleh lanjut dari bentuk pertanian (*Agri Cultural*) ke bentuk dinamis.

#### 2.2 Klasifikasi Ketel Uap

Ketel uap dapat diklasifikasikan dalam beberapa kriteria, antara lain menurut penggunaan, pemipaan, kemiringan dan posisi pipa sistem sikulasi.

##### 1. Berdasarkan penggunaan

Dasar yang utama dari karakter penggunaan ini adalah : Sifat lokasi operasional dari ketel tersebut.

- a. Ketel uap stationer, terutama untuk digunakan pada pusat pembangkitan tenaga uap, pusat pengolahan, stasiun pusat pembangkit tenaga uap, stasiun sentral penggunaan tenaga uap, dan lain-lain.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

##### b. Ketel uap yang makil terutama digerakan untuk lokomotif dan kapal laut.

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

## 2. Berdasarkan pemipaan

Berdasarkan kriteria ini, maka ketel dapat dibedakan atas dua bagian antara lain:

- a. Ketel pipa api dikatakan karena apinya berada didalam pipa sedangkan airnya berada diluar pipa.
- b. Ketel pipa air dikatakan karena airnya berada didalam pipa sedangkan apinya berada diluar pipa.

## 3. Berdasarkan kemiringan dan posisi pipa

Posisi pemipaan ini, didasarkan terhadap bidang pipa yang mengalami pemanasan.

- a. Bentuk pemipaan yang bengkok atau lurus.
- b. Bentuk pemipaan horizontal, inklinasi, inklinasi atau vertical.

## 4. Berdasarkan posisi ruang bakar

Pada posisi ruang bakar ini, diklasifikasinya didasarkan terhadap sistim pembakaran dalam atau luar.

### a. Pembakaran luar

Pada pembakaran luar, pembakaran yang digunakan diambil dari luar daerah air didihnya (boiling water).

### b. Pembakaran dalam

Pada pembakaran dalam, jika daerah ruang bakarnya dilingkupi secara komplit dengan air pendinginnya (*kasus ini hanya terdapat pada ketel lancashire*).

## 5. Berdasarkan sumber panas

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Pada klasifikasi sumber panas didasarkan kepada produksi pembakaran

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

antara lain :

- a. Bahan bakar cair, padat atau gas.
- b. Gas panas sisa produksi dari proses kimia.
- c. Energi listrik dan energi nuklir.

## 6. Berdasarkan sirkulasi

Pada klasifikasi ini hanya ada dua bagian besar sirkulasi antara lain :

### a. Sirkulasi alam (*natural circulation*)

Pada jenis sirkulasi ini, terjadi aliran sirkulasi tersebut ditimbulkan oleh adanya aliran panas konveksi alam, sehingga terjadi perbedaan temperatur, antara temperatur air masuk (*down comer*) dengan keluar (*riset*), sehingga mengakibatkan adanya perbedaan berat jenis air pada down comer lebih berat dari air pada riset.

### b. Sirkulasi paksa (*positive force circulation*)

Pada klasifikasi ini, bahwa aliran fluida tersebut ditimbulkan oleh adanya gaya luar yang bekerja terhadap fluida, sedangkan untuk aliran sirkulasinya ditentukan dengan suatu alat pengontrol agar diperoleh pendayagunaan sirkulasi yang efisien.

## 2.3 Pemilihan Ketel Uap

Pada tugas akhir ini penulis merancang pipa waterwall untuk melayani pabrik pengolahan kelapa sawit, yang berkapasitas 20 ton/jam dengan tekanan 20

kg/cm<sup>2</sup>. Dari data tersebut dipertimbangkan bahwa ketel yang digunakan adalah

ketel uap pipa air atau berdasarkan pemipaan. Pemilihan ketel uap pipa air ini

berdasarkan pemipaan. Pemilihan ketel uap pipa air ini didasarkan pada pertimbangan efisiensi dan biaya. (Universitas Medan Area, 2018)

disesuaikan dengan kebutuhan uap dilapangan yaitu pabrik kelapa sawit. Apabila dibandingkan dengan ketel pipa api ketel pipa air memiliki kelebihan yaitu sanggup bekerja dengan tekanan tinggi, kapasitas uap yang besar, dapat dioperasikan dengan cepat, dalam singkat telah dapat memproduksi uap.

## 2.4 Proses Terbentuknya Uap

Pembentukan uap dimaksudkan merubah air menjadi uap yang akan dipergunakan untuk sumber tenaga pada turbin uap dan keperluan proses pada pabrik kelapa sawit. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk pembentukan uap dari air  $0^{\circ}\text{C}$  bisanya dalam, teknik disebut *entalphi uap (Lu)* yaitu jumlah panas yang diperlukan untuk merubah air dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai menjadi uap jenuh (*Saturate steam*).

Air waktu dipanaskan tidak langsung menjadi uap, tetapi lebih dulu suhunya naik sampai didih, biarpun tetap diberikan panas, suhu ini tidak akan naik lagi, kecuali kalau tekanan diatas permukaan air dinaikan pula.

Yang berubah disini ialah keadaan air tadi yang berubah menjadi uap. Jumlah panas yang diberikan pada air selama suhunya berubah sampai suhu jenuh (*Saturated steam*) disebut *entalphi air (La)*.

### 2.4.1 Bidang Pemanasan Untuk Menghasilkan Uap Jenuh (*Saturated Steam*)

a. Bidang pemanas I meliputi pipa - pipa air pada dinding ruang bakar

UNIVERSITAS MEDAN AREA

(waterwall tubes)

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

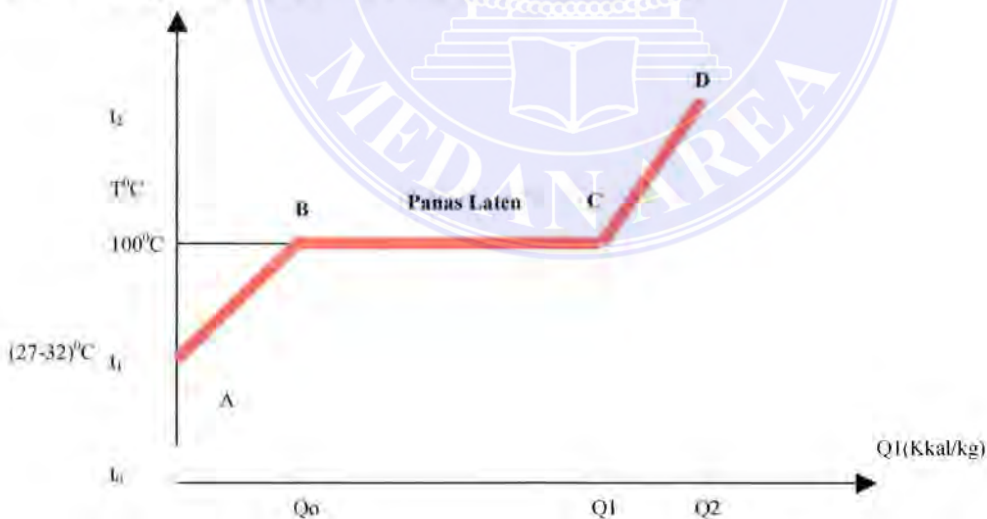
- b. Bidang pemanas II meliputi pipa-pipa air antara drum atas dan drum bawah (*generating tubes*).

Untuk mendapatkan luar bidang pemanas yang minimum dengan kemampuan penyerapan kalor yang optimal hanya dapat diperoleh jika semua cara pembakaran panas tersebut dapat dilibatkan pada proses penyerapan kalor yang terjadi dengan keadaan penyerapan tinggi.

Liputan cara perpindahan panas tersebut mencakup :

- Dengan cara konduksi (*hantaran*);
- Dengan cara radiasi (*pancaran*);
- Dengan cara koveksi (*aliran*).

#### 2.4.2 Diagram Perubahan Air Menjadi fase Uap



Gambar 2.1. Digram perubahan Air menjadi Uap.

#### Keterangan gambar :

A-B = Proses pemanasan air dari temperatur kamar  $(27-32)^{\circ}\text{C}$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

hingga temperature  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan  $(1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kg/cm}^2)$ .

Document Accepted 25/8/23

- Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
- Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

B-C = Proses pengupuan air menjadi uap saturasi atau panas laten. Tekanan dan suhu pada proses ini konstan.

C-D = Proses pemanasan lanjut.

Dalam hal ini untuk menggerakkan turbin sebagai penggerak generator adalah uap panas lanjut (*superheater steam*) yaitu uap yang mengandung butir-butir air diberi pemanasan lanjut oleh superheater diperoleh dari gas asap hasil pembakaran.

## 2.5 Distribusi Penggunaan Uap

Yang dimaksud dengan distribusi penggunaan uap dalam hal ini adalah suatu sistim yang menumpukan aliran uap yang diproduksi ketel, sehingga dapat digunakan pada unit proses dan pembangkit tenaga listrik (*Turbin Uap*) pada pabrik pengolahan kelapa sawit yang dimaksud.

Secara teknis ada beberapa sistim distribusi yang dapat dilaksanakan antara lain :

1. Sistim parallel
2. Sistim seri
3. Sistim seri dengan by pass

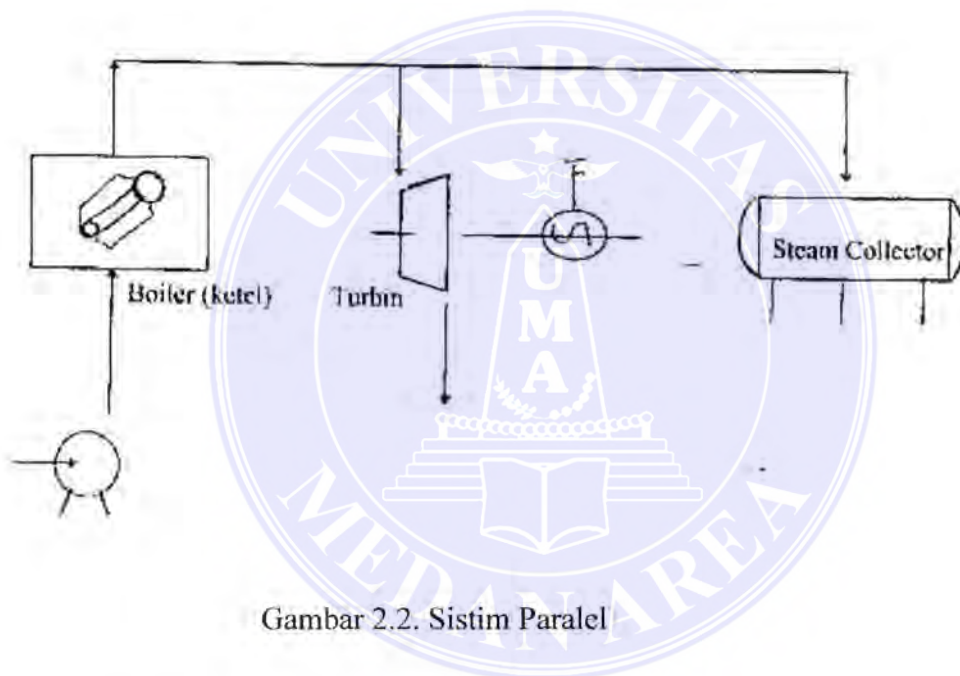
### 2.5.1 Sistem Paralel

Pada sistim ini, turbin uap dan unit proses ditempatkan secara parallel

sehingga keduanya akan menerima uap dari ketel yang sama. Uap yang diproduksi

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

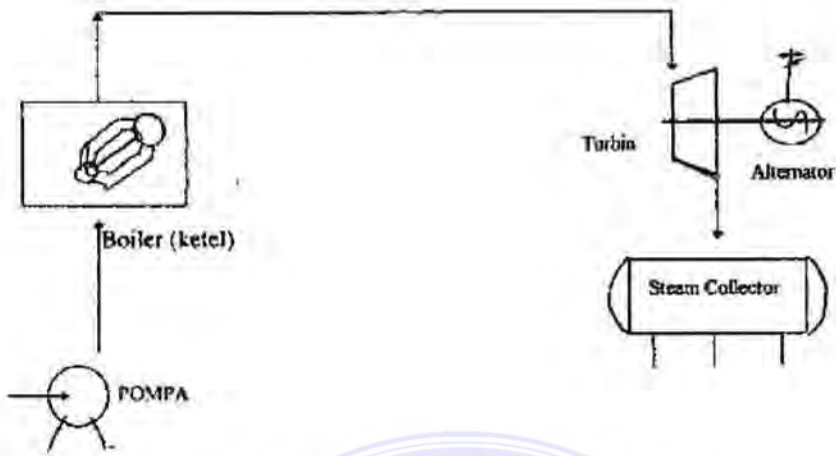
ketel dicabangkan keturbin uap dan unit proses sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan masing-masing. Sistem ini mempunyai kebaikan temperatur dan tekanan uap untuk unit proses dapat dibuat tinggi, sedangkan keburukannya kapasitas ketel uap relative besar, karena masing-masing aliran berada dari ketel yang sama.



Gambar 2.2. Sistem Paralel

### 2.5.2 Sistem Seri

Dalam hal ini dimaksudkan uap yang bersal dari ketel dialirkan keturbin uap, keunit proses, dengan demikian system ini efisiensi pemakaian uapnya dapat ditingkatkan, sehingga keuntungannya adalah jumlah uap yang dibutuhkan untuk operasi yang sama akan tetapi lebih kecil dibandingkan dengan sistem parallel dan keburukannya pada saat jumlah produksi turun, maka uap yang dihasilkan

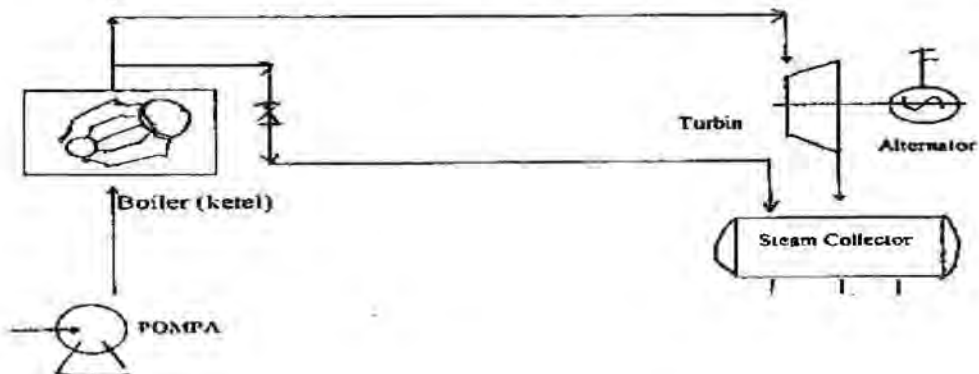


Gambar 2.3. Sistim Seri

### 2.5.3 Sistim Seri Dengan By Pass

Sistim ini merupakan penyempurnaan dari sistim seri, dalam sistim ini dilengkapi dengan by pass, hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan kebaikan-kebaikan antara lain :

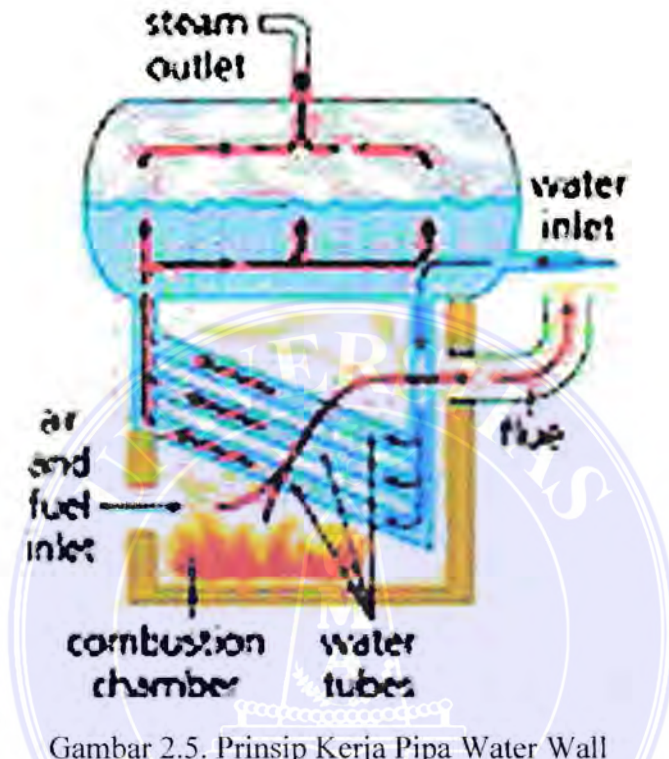
- Mencegah penurunan tekanan uap akibat pemakaian yang berlebih.
- Supply uap ke unit proses dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan ,yaitu dengan mengatur kapasitas ketel dan by pass, sehingga pendayagunaan uap dapat dijaga.



Gambar 2.4. Sistim Seri Dengan BY pass



## 2.6 Prinsip Kerja Pipa Waterwall



Gambar 2.5. Prinsip Kerja Pipa Water Wall

Pipa waterwall berfungsi sebagai media pemanas air untuk pembentukan uap saturasi dan berfungsi sebagai dinding ruang bakar. Bidang pemanas yang utama untuk memanaskan air adalah pipa waterwall yang langsung berhadapan dengan nyala api.

Pipa waterwall adalah dinding-dinding pipa air yang terdiri dari susunan pipa-pipa yang ditempatkan pada sisi sebelah dalam ruang bakar, hal ini dilakukan agar panas yang diserap dari hasil pembakaran lebih besar. Panas yang diterima oleh air dalam pipa waterwall berasal dari radiasi nyala api dalam dapur dan juga konveksi pada aliran gas asap. Panas tersebut kemudian dikonduksikan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

dinding pipa ke air didalam pipa waterwall dan membentuk uap saturasi. Bagian

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 23/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

atas pipa waterwall dihubungkan kedrum atas sehingga air yang telah dipanaskan diruang bakar masuk kedalam drum sedangkan sirkulasi air didalam pipa waterwall bergerak secara alami.

### 2.6.1 Sirkulasi Air

Adapun proses kerja sirkulasi air didalam pipa waterwall sebelum dilangsungkan kepanas lanjut, dilakukan dengan proses. Drum utama dalam ketel (*main boiler drum*) dihubungkan dengan pipa-pipa terjun yang ditempatkan diluar tungku (*tidak disinggung oleh api*) menuju ke waterheader yang ada didasar tungku sehingga air relatif yang agak dingin, dari drum ketel akan turun ke bawah melewati pipa terjun tersebut menuju waterheader.

Dari waterheader yang terletak didasar tungku tersebut, air mengalir keatas dan diuapkan melalui pipa-pipa penguap (*pipa waterwall*) yang dipasang dikeliling tungku. Pipa-pipa penguap (*pipa waterwall*) yang melapisi dinding tungku yang terletak dibawah drum ketel, akan langsung bermuara didrum ketel. Tetapi pipa-pipa penguap yang lain yang tidak terletak dibawah drum ketel, terlebih dahulu akan bermuara pada tabung-tabung pengumpul uap kenyang atau saturated steam header. Dari saturated steam header ini, dialirkan ke drum-drum ketel melalui pipa khusus untuk penyalur uap yang dikhususkan. Dengan demikian saluran pembentukan uap disekelilingi tungku yang terdiri dari pipa-pipa penguap (*pipa waterwall*).

## 2.6.2 Dinding Pipa Waterwall

Pipa air yang mendinginkan dinding air disusun dengan jarak penyerapan kalor setinggi mungkin. Kontruksi pipa telah banyak mengalami perubahan dari pipa telanjang yang menyinggung atau dibenamkan didalam batas api sampai pipa buduri (*studed*) dan rancangan membran yang banyak dipakai dewasa ini.

Rancang terdiri dari pipa-pipa yang jarak sumbunya sedikit lebih besar dari diameter, dan dihubungkan oleh batang-batang atau membran yang dilaskan pada pipa pada garis tengahnya.

Membran ini berfungsi sebagai sirip yang meningkatkan perpindahan kalor dan untuk mendapatkan kontruksi tahan kedap tekanan, tegar dan sinambang. Gas pembakaran dapat dikurangi tanpa memerlukan cangkang dalam. Isolasi dan pelapis logam yang diperlukan untuk melindunginya terdapat pada bagian luar dinding, salah satu pabrik membutuhkan rancangan dengan pipa berdiameter 3 inchi dengan jarak 4 inchi dan yang lain 2,75 inchi dan 3,75 inchi.

## BAB III

### ANALISA KALOR BAHAN BAKAR

#### 3.1 Bahan Bakar

Dalam memproduksi uap dalam ketel dibutuhkan sejumlah panas, dimana panas diperoleh dari bahan bakar yang dibakar. Ada beberapa cara dalam pemilihan bahan bakar untuk suatu kebutuhan, antara lain :

1. Bahan bakar yang tersedia kualitasnya cukup baik.
2. Nilai kalornya yang tinggi.
3. Bahan bakar mudah didapat dan ongkosnya murah.

Dalam perencanaan ini ketel uap digunakan untuk proses pengolahan buah kelapa sawit, maka alternatif pemilihan bahan bakar cenderung untuk memilih cangkang dan serabut sebagai bahan bakar.

#### 3.2 Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor bahan bakar (*Heating Value*) adalah banyak energi panas yang diperoleh (*dilepas*) pada proses pembakaran sempurna, satu kilogram bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar terbagi atas dua bagian yaitu :

1. Nilai pembakaran tinggi (*High Heating Value*) yaitu :

Banyaknya panas yang diperoleh pada proses pembakaran sempurna dari satu kilogram bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi air.

2. Nilai pembakaran rendah (*Low Heating Value*) yaitu :

Banyaknya panas yang diperoleh pada proses pembakaran sempurna dari satu-

Kilogram bahan bakar dikurangi dengan panas kondensasi air.

Bahan bakar yang digunakan pertama sekali pada proses pembakaran adalah bahan bakar solar. Dari data yang diperoleh dari laboratorium bahwa komposisi kimia cangkang dan serabut adalah :

No	Komposisi bahan bakar	Cangkang	Serabut
1	Carbon ( C )	50,12 %	47,14 %
2	Hidrogen ( H <sub>2</sub> )	5,91 %	5,79 %
3	Nitrogen ( N <sub>2</sub> )	10,95 %	12,19 %
4	Oksigen ( O <sub>2</sub> )	30,20 %	27,98 %
5	Sulfur ( S )	0,18 %	0,30 %
6	Ash ( A )	2,64 %	6,60 %
7	<b>Jumlah</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Sumber : PT.Sumber Sawit Makmur

Dengan memakai rumus Dulong dan Petit, maka dapat diperoleh nilai kalor tertinggi (HHV) dan nilai kalor terendah (LHV) dari bahan bakar cangkang dan serabut.

Nilai kalor atas (HHV) untuk serabut

$$HHV_s = (8080 \cdot C) + \left[ 34460 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right] + (2220 \cdot S) \text{ kkal/kg}_{bb} \dots (\text{Lit 3, Hal 160})$$

$$HHV_s = (8080 \cdot 0,4714) + \left[ 34460 \left( 0,0579 - \frac{0,2798}{8} \right) \right] + (2220 \cdot 0,0030)$$

$$= 4605,56 \text{ kkal/kg}_{bb}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Nilai kalor bawah (LHV) untuk serabut

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

$$\text{LHV}_s = \text{HHV}_g - (9 \cdot H_2 \cdot 586) \dots \dots \dots (\text{Lit 3, Hal 160})$$

$$\begin{aligned} \text{LHV}_s &= 4605,56 - (9 \cdot 0,0579 \cdot 586) \\ &= 4300,19 \text{ kkal/kg}_{\text{bb}} \end{aligned}$$

Nilai kalor atas HHV untuk cangkang

$$\begin{aligned} \text{HHV}_c &= (8080 \cdot C) + \left[ 34460 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right] + (2220 \cdot S) \\ &= (8080 \cdot 0,5012) + \left[ 34460 \left( 0,0591 - \frac{0,3020}{8} \right) \right] + (2220 \cdot 0,0018) \\ &= 4789,41 \text{ kkal/kg}_{\text{bb}} \end{aligned}$$

Nilai kalor bawah (LHV) untk cangkang

$$\begin{aligned} \text{LHV}_c &= \text{HHV}_c - (9 \cdot H_2 \cdot 586) \\ &= 4789,41 - (9 \cdot 0,0591 \cdot 586) \\ &= 4477,71 \text{ kkal/ kg}_{\text{bb}} \end{aligned}$$

Dalam hal ini pemakaian kedua bahan bakar diatas ada beberapa pertimbangan yang harus diperhitungkan untuk menentukan perbandingan pemakaian cangkang dan serabut antara lain :

### 1. Cangkang

Apabila hanya cangkang yang digunakan sebagai bahan bakar maka disamping akan mengakibatkan terjadinya over heating (kelebihan panas) juga mengakibatkan nyala api dari bahan bakar akan mati karena sulit udara bakar masuk diantara bahan bakar.

### 3.2.1. Konsumsi Bahan Bakar

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

Untuk mendapatkan tap dengan kapasitas 20 ton uap/jam dan tekanan kerja ketel-

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

20 kg/cm<sup>2</sup>, maka ketel uap tersebut membutuhkan sejumlah bahan bakar yang jumlahnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$W_f = \frac{m_u \cdot (h_{sup} - h_a)}{LVH \cdot \eta_k} \text{ (kg/jam)} \dots\dots\dots \text{(Lit,3 Hal 223)}$$

Dimana :

$m_u$  = Massa uap untuk pengolahan (*kapasitas uap*)

$$= 20000 \text{ kg/jam}$$

$h_{sup}$  = Entalpi uap keluar superheater pada temperature 240<sup>0</sup>C dan tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup>

$$= 687,2 \text{ kkal/kg}$$

$h_a$  = Entalpi air pengisi air ketel, untuk diambil temperatur dari pompa air umpan ketel 105<sup>0</sup>C dan tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup>

$$= 105 \text{ kkal/kg}$$

$\pi_k$  = Efisiensi keel (70 ÷ 90)%.....(Lit 3, Hal 226)

$$= 80 \% \text{ (diambil)}$$

LHV = Nilai kalor bawah

$$= 4344,57 \text{ kkal/kg}$$

maka kebutuhan bahan bakar adalah :

$$\begin{aligned} W_f &= \frac{m_u \cdot (h_{sup} - h_a)}{LHV \cdot \eta_k} \\ &= \frac{20000(687,2 - 105)}{4344,57 \cdot 0,80} \\ &= 3350,15 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

### 3.3 Kebutuhan Udara Pembakaran

Untuk mendapatkan proses pembakaran bahan bakar maka diperlukan udara pembakaran. Dalam menentukan konsumsi udara pembakaran yang dibutuhkan maka perlu mengetahui komposisi kimia dari bahan bakar campuran tersebut adalah :

$$C = 0,25 (50,12) + 0,75 (47,14) = 47,88 \%$$

$$H_2 = 0,25 ( 5,91) + 0,75 ( 5,79) = 5,82 \%$$

$$N_2 = 0,25 (10,95) + 0,75 (12,91) = 11,88 \%$$

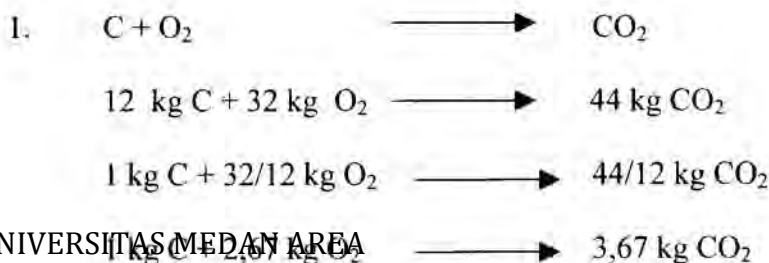
$$O_2 = 0,25 (30,20) + 0,75 (27,98) = 28,53 \%$$

$$S = 0,25 ( 0,18) + 0,75 ( 0,30) = 0,27 \%$$

$$A = 0,25 ( 2,64) + 0,75 ( 6,60) = 5,61 \%$$

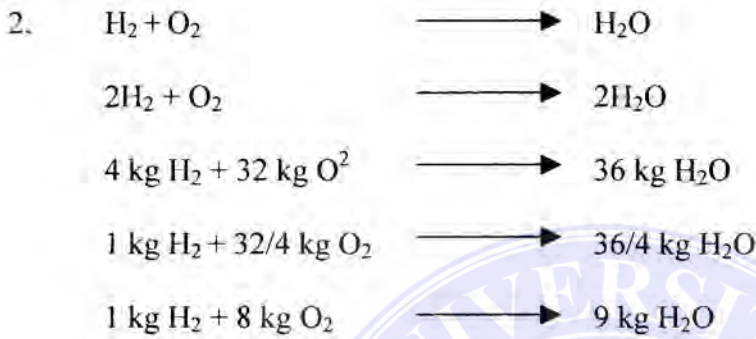
Dalam proses pembakaran tidak semua unsur bereaksi dengan oksigen ( $O_2$ ), seperti nitrogen ( $N_2$ ). Unsur ini akan keluar bersama-sama gas asap. Besarnya jumlah Nitrogen ini tergantung kepada jumlah pembakaran yang dibutuhkan dari jumlah Nitrogen yang terkandung didalam bahan bakar tersebut.

Pada bahan bakar cangkang dan serabut, komposisi kimia yang bereaksi dengan Oksigen pada pembakaran adalah Karbon, Hidrogen dan sulfur dengan reaksi kimianya adalah :

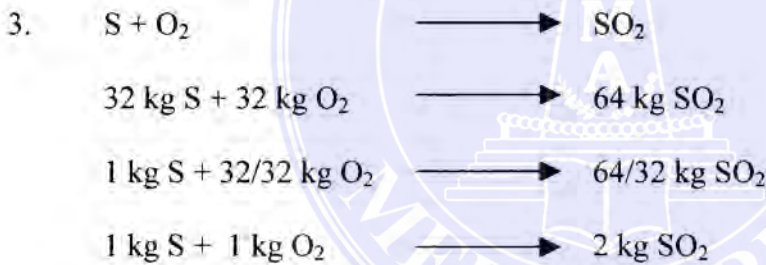




Artinya tiap-tiap pembakaran 1 kg Karbon secara sempurna dibutuhkan sebanyak 2,67 kg Oksigen, sehingga menghasilkan Karbon Dioksida sebanyak 3,67 kg.



Artinya tiap-tiap pembakaran 1 kg Hidrogen secara sempurna dibutuhkan sebanyak 8 kg Oksigen sehingga menghasilkan air (H<sub>2</sub>O) sebanyak 9 kg.



Artinya tiap-tiap pembakaran 1 kg Sulfur secara sempurna dibutuhkan sebanyak 1 kg Oksigen sehingga menghasilkan Sulfur Dioksida sebanyak 2 kg.

Banyak udara pembakaran yang dibutuhkan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar adalah :

$$(W_a)_{th} = \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,988S - O_2}{0,232} \text{ (kg}_{ud}/\text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots \text{(Lit 3, Hal 163)}$$

$$(W_a)_{th} = \frac{2,66(0,4788) + 7,94(0,0582) + 0,998(0,0027) - 0,2853}{0,232} = 6,26 \text{ kg}_{ud}/\text{kg}_{bb}$$

Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna maka dibutuhkan faktor udara lebih (*excess air*)

Menurut penelitian apabila berat udara teoritis yang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

diperoleh dari rumus dan dipakai untuk pembakaran yang kurang sempurna, hal ini dikarenakan kurangnya udara (*Oksigen*). Maka untuk mencari banyaknya udara pembakaran sebenarnya adalah :

$$(W_a)_{act} = (W_a)_{th} + f_a \cdot (W_a)_{th}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} F_a &= \text{Faktor udara lebih (excess air)} \\ &= (25 \div 50)\% \dots\dots\dots (\text{Lit 3 Hal 186}) \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} (W_a)_{act} &= (W_a)_{th} + f_a \cdot (W_a)_{th} \\ &= 6,26 + 0,25 \cdot 6,26 \\ &= 7,82 \text{ kg}_{ud}/\text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Kebutuhan udara pembakaran tiap jam adalah :

$$\begin{aligned} (W_a)_{ud} &= W_f \cdot (W_a)_{act} \\ &= 3350,15 \cdot 7,82 \\ &= 26198,17 \text{ kg}_{ud}/\text{jam} \end{aligned}$$

Volume teoritis udara pembakaran yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} (V_a)_{th} &= \frac{1,865C + 5,56H_2 + 0,6897S - 0,7O_2}{0,21} \text{ m}^3_{ud} / \text{kg}_{bb} \dots (\text{Lit 3, Hal 163}) \\ (V_a)_{th} &= \frac{1,865(0,4788) + 5,56(0,0582) + 0,6897(0,0027) - 0,7(0,2853)}{0,21} \\ &= 4,85 \text{ m}^3_{ud}/\text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Agar pembakaran terjadi secara sempurna diberikan faktor udara lebih,

maka volume udara pembakaran sebenarnya adalah :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$(V_a)_{act} = f_a \cdot (V_a)_{th}$$

Document Accepted 25/8/23

$$= 4,85 + 0,25 \cdot 4,85$$

$$= 6,06 \text{ m}^3_{\text{ud}} / \text{kg}_{\text{bb}}$$

Volume udara pembakaran yang dibutuhkan tiap jam adalah :

$$(Va)_{\text{ud}} = W_f \cdot (Va)_{\text{act}}$$

$$= 3350,15 \cdot 6,06$$

$$= 20301,90 \text{ m}^3_{\text{ud}} / \text{jam}$$

Pensuplaian udara dengan menggunakan fan tekan, sehingga volume udara pembakaran yang mensuplai fan adalah  $20301,90 \text{ m}^3_{\text{ud}} / \text{jam}$ .

### 3.4 Analisa Gas Asap

#### A. Prokduksi Gas Asap

Gas asap berbentuk dari hasil pembakaran dari gas-gas sisa pembakaran. Berat gas asap yang berbentuk dari pembakaran bahan bakar adalah sama dengan jumlah berat bahan bakar ditambah dengan jumlah berat udara pembakaran yang dibutuhkan dikurangi dengan presentasi abu, yaitu dirumuskan sebagai berikut :

$$W_g = 1 + \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998S - P_2}{0,232} \text{ R-A (kg}_{\text{gas asap}}/\text{kg}_{\text{bb}}) \dots \dots (\text{Lit 3, Hal 183})$$

Dimana :

$$R = \text{Angka kelipatan udara}$$

$$= \frac{(Wa)_{\text{act}}}{(Wa)_{\text{th}}}$$

$$= \frac{7,82}{6,26}$$

A = Persentase abu (Ash)

$$= 5,61 \%$$

Maka :

$$W_g = 1 + \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998S - O_2}{0,232} R - A$$

$$= 1 + \frac{2,66(0,4788) + 7,94(0,0582) + 0,998(0,0027) - 0,2853}{0,232} 1,24 - 0,0561$$

$$= 8,41 \text{ kg}_{\text{gas asap}} / \text{kg}_{\text{bb}}$$

Berat gas asap dari hasil pembakaran bahan bakarnya tiap jam adalah

$$(W_g)_{\text{tot}} = W_f \cdot W_g$$

$$= 3350,15 \cdot 8,41$$

$$= 28174,74 \text{ kg}_{\text{gas asap}} / \text{jam}$$

Dari persamaan reaksi kimia ditemukan susunan kimia gas-gas asap dari pembakaran 1 kg bahan bakar yaitu :

1. Berat kandungan Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ )

$$W(\text{CO}_2) = 3,67 \text{ kg CO}_2 / \text{kg}_{\text{bb}} \cdot C$$

$$= 3,67 \text{ kg CO}_2 / \text{kg}_{\text{bb}} \cdot 0,4788$$

$$= 1,76 \text{ kg CO}_2 / \text{kg}_{\text{bb}}$$

2. Berat kandungan air ( $\text{H}_2\text{O}$ )

$$W(\text{H}_2\text{O}) = 9 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg}_{\text{bb}} \cdot H_2$$

$$= 9 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg}_{\text{bb}} \cdot 0,0582$$

$$= 0,5238 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg}_{\text{bb}}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

3. Berat kandungan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ )

Document Accepted 25/8/23

$$\begin{aligned}
 W(\text{SO}_2) &= 2 \text{ kg SO}_2/\text{kg bb} \\
 &= 2 \text{ kg SO}_2/\text{kg bb} \cdot 0,0582 \\
 &= 0,0054 \text{ kg SO}_2/\text{kg bb}
 \end{aligned}$$

4. Untuk excess O<sub>2</sub>

Dimana faktor udara lebih (*excess*) = 25%, sedangkan didalam persentase berat yaitu 1 kg udara mengandung 23 % O<sub>2</sub> dan 76,8% N<sub>2</sub> dan dalam persentase volume yaitu 1 m<sup>3</sup> udara terdapat 21% O<sub>2</sub> dan 79% N<sub>2</sub>.

$$\begin{aligned}
 W(\text{O}_2) &= f_a \cdot 23\% \cdot (W_a)_{th} \\
 &= 0,25 \cdot 0,23 \cdot 6,26 \\
 &= 0,35 \text{ kg O}_2/\text{kg bb}
 \end{aligned}$$

5. Berat kandungan Nitrogen (N<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned}
 W(\text{N}_2) &= 76,8\% \cdot (W_a)_{act} + N_2 \\
 &= 0,768 \cdot 7,82 + 0,1188 \\
 &= 6,12 \text{ kg N}_2/\text{kg bb}
 \end{aligned}$$

Berat gas asap basah (W<sub>g</sub>)<sub>b</sub> adalah

$$(W_g)_b = 1 + (W_a)_{act} - A \dots \dots \dots (\text{Lit 3, Hal 182})$$

$$\begin{aligned}
 (W_g)_b &= 1 + 7,82 - 0,0561 \\
 &= 8,76 \text{ kg gas/kg bb}
 \end{aligned}$$

Analisa berat gas asap basah adalah sebagai berikut :

$$A_w = \frac{W_A}{(W_g)_b} \cdot 100\% \dots \dots \dots (\text{Lit 3, Hal 197})$$

Dengan menggunakan rumus diatas diperoleh :

$$\frac{1,76}{8,76} \cdot 100\% = 20\%$$

$$(\text{SO}_2)_w = \frac{0,0054}{8,76} \cdot 100\% = 0,06 \%$$

$$(\text{O}_2)_w = \frac{0,35}{8,76} \cdot 100\% = 3,9 \%$$

$$(\text{N}_2)_w = \frac{6,12}{8,76} \cdot 100\% = 69,86 \%$$

Berat gas asap kering (*gas asap yang tidak mengandung air*) adalah :

$$(\text{Wg})_k = (\text{Wg})_b - \text{W}(\text{H}_2\text{O}) \dots\dots\dots(\text{Lit 3, Hal 198})$$

$$\begin{aligned} (\text{Wg})_k &= 8,76 - 0,5238 \\ &= 8,23 \text{ kg}_{\text{gas}}/\text{kg}_{\text{bb}} \end{aligned}$$

Untuk pembakaran bahan bakar selama satu jam, maka berat gas asap keringtotal yang dihasilkan adalah :

$$\begin{aligned} (\text{Wg})_{k \text{ tot}} &= W_f \cdot (\text{Wg})_k \\ &= 3350,15 \cdot 8,23 \\ &= 27571,73 \text{ kg}_{\text{gas}}/\text{jam} \end{aligned}$$

Analisa berat gas asap kering adalah sebagai berikut :

$$A_w = \frac{W_A}{(\text{Wg})_k} \cdot 100\% \dots\dots\dots(\text{Lit 3, Hal 198})$$

Dengan menggunakan rumus diatas maka diperoleh :

$$(\text{CO}_2)_w = \frac{1,76}{8,23} \cdot 100\% = 21,26 \%$$

$$(\text{SO}_2)_w = \frac{0,0054}{8,23} \cdot 100\% = 0,06 \%$$

$$(\text{O}_2)_w = \frac{0,35}{8,23} \cdot 100\% = 4,25 \%$$

$$(N_2)_w = \frac{6,12}{8,23} \cdot 100\% = 74,36\%$$

## B. Volume Gas Asap

Volume gas asap dapat dihitung lebih dahulu dengan mengetahui berat jenis dari hasil pembakaran.

Volume gas asap basah yaitu :

$$V_g(\text{CO}_2) = \frac{W(\text{CO}_2)}{1,96} \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \dots\dots\dots(\text{Lit 3 Hal 191})$$

$$\begin{aligned} V_g(\text{CO}_2) &= \frac{1,76}{1,96} \\ &= 0,896 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

$$V_g(\text{N}_2) = \frac{W(\text{N}_2)}{1,25} (\text{m}^3 / \text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots(\text{Lit 3, Hal 191})$$

$$\begin{aligned} V_g(\text{O}_2) &= \frac{6,12}{1,25} \\ &= 4,90 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

$$V_g(\text{O}_2) = \frac{W(\text{O}_2)}{1,43} (\text{m}^3 / \text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots(\text{Lit 3, Hal 191})$$

$$V_g(\text{O}_2) = \frac{0,35}{1,43} = 0,25 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb}$$

$$V_g(\text{H}_2\text{O}) = \frac{W(\text{H}_2\text{O})}{0,80} (\text{m}^3 / \text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots(\text{Lit 3, Hal 191})$$

$$V_g(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,5238}{0,80}$$

$$= 0,654 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb}$$

$$V_g(\text{SO}_2) = \frac{W(\text{SO}_2)}{2,857} \left( \text{m}^3 / \text{kg}_{bb} \right) \dots\dots\dots(\text{Lit 3, Hal 192})$$

$$\begin{aligned} V_g(\text{SO}_2) &= \frac{0,0054}{2,857} \\ &= 0,0019 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Dengan demikian diperoleh volume gas asap basah yang terjadi pembakaran 1 kg bahan bakar sabut dan cangkang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} (V_g)_b &= V_g(\text{CO}_2) + V_g(\text{H}_2\text{O}) + V_g(\text{SO}_2) + V_g(\text{O}_2) + V_g(\text{N}_2) \\ &= 0,896 + 0,654 + 0,0019 + 0,25 + 4,90 \\ &= 6,70 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Volume gas asap basah untuk pembakaran bahan bakar selama satu jam adalah :

$$\begin{aligned} (V_g)_{b \text{ tot}} &= W_r \cdot (V_g)_b \\ &= 3350,15 \cdot 6,70 \\ &= 22446 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Volume gas asap kering (gas asap yang tidak mengandung air) adalah :

$$\begin{aligned} (V_g)_k &= (V_g)_b - V_g(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 6,70 - 0,654 \\ &= 6,1 \text{ m}^3 / \text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Volume gas asap kering untuk pembakaran bahan bakar selama satu jam adalah :

$$\begin{aligned} (V_g)_{k \text{ tot}} &= W_r \cdot (V_g)_k \\ &= 350,154 \cdot 6,1 \\ &= 20435,9 \text{ m}^3 / \text{jam} \end{aligned}$$

Hasil persentase volume gas asap basah adalah :

UNIVERSITAS MEDAN AREA



$$\begin{aligned}(\text{CO}_2)_v &= \frac{Vg(\text{CO}_2)}{(Vg)_b} \cdot 100 \% \\ &= \frac{0,896}{6,70} \cdot 100 \% \\ &= 13,27 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{H}_2\text{O})_v &= \frac{Vg(\text{H}_2\text{O})}{(Vg)_b} \cdot 100\% \\ &= \frac{0,0019}{6,70} \cdot 100 \% \\ &= 0,028 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{SO}_2)_v &= \frac{Vg(\text{SO}_2)}{(Vg)_b} \cdot 100 \% \\ &= \frac{0,25}{6,70} \cdot 100 \% \\ &= 3,73\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{N}_2) &= \frac{Vg(\text{N}_2)}{(Vg)_b} \cdot 100 \% \\ &= \frac{4,90}{6,70} \cdot 100 \% \\ &= 73,17 \%\end{aligned}$$

Analisa persentase volume gas asap kering adalah :

$$\begin{aligned}(\text{CO}_2)_v &= \frac{Vg(\text{CO}_2)}{(Vg)_k} \cdot 100 \% \\ &= \frac{0,896}{6,1} \cdot 100 \% \\ &= 14,68 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{SO}_2)_v &= \frac{Vg(\text{SO}_2)}{(Vg)_k} \cdot 100 \% \\ &= \frac{0,0019}{6,1} \cdot 100 \%\end{aligned}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

$$= 0,031 \%$$

$$(O_2)_v = \frac{Vg(O_2)}{(Vg)_k} \cdot 100 \%$$

$$= \frac{0,25}{6,1} \cdot 100$$

$$= 4,09 \%$$

$$(N_2)_v = \frac{Vg(N_2)}{(Vg)_k} \cdot 100 \%$$

$$= \frac{4,90}{6,1} \cdot 100 \%$$

$$= 80,32 \%$$

Dari keadaan gas-gas asap dapat diketahui keadaan proses pembakaran di dalam dapur ketel. Biasanya gas asap yang keluar dengan warna hitam pekat menyatakan masih adanya sisa karbon yang belum habis terbakar yang diakibatkan kandungan air yang terlalu banyak didalam bahan bakar sehingga suhu pembakaran menjadi rendah, dan apabila warna gas asap yang keluar dari cerobong asap adalah bening maka dapat diperkirakan pembakaran telah sempurna.

### 3.5 Kalor pembakaran

Kalor pembakaran adalah kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar yang terbakar didalam ruang bakar (dapur ketel) adalah :

$$Q_f \cdot W_r \cdot LHV \cdot \eta_f \cdot (\text{kkal / jam}) \dots \dots \dots (\text{Lit 3, Hal 47})$$

$W_f$  = konsumsi bahan bakar

$$= 3350,15 \text{ kg}_{bb} / \text{jam}$$

LHV = Nilai kalor bawah

$$= 4344,57 \text{ kkal} / \text{kg}_{bb}$$

$\eta_f$  = Efisiensi dapur

$$= (0,90 \div 0,97)$$

$$= 0,95 \text{ (diambil)}$$

Maka :

$$Q_r = W_f \cdot LHV \cdot \eta_f$$

$$= 3350,15 \cdot 4344,57 \cdot 0,95$$

$$= 13827213 \text{ kkal} / \text{jam}$$

Dimana kalor pembakaran disebut juga dengan kapasitas dapur.

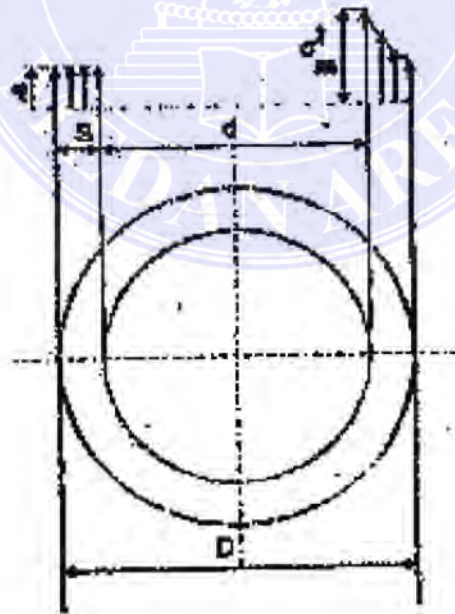
## BAB V

### ANALISA TEGANGAN DAN KEKUATAN

#### PIPA WATER WALL

Analisa tegangan merupakan bagian yang paling terpenting dalam disain dan pelaksanaan sistem perpipaan. Bagian ini berhak merubah perencanaan jalur – jalur sistem perpipaan dan mengubah – ubah peletakan tumpuan atau penyanggah pipa, seandainya dianggap kurang fleksibel.

Pada katel uap ( boiler ) tekanan ( P ) dalam pipa menimbulkan tegangan tarik tangensial yang tidak merata. Tegangan ini maksimal pada diameter dalam ( Di ) dan menjadi minimum pada diameter luar ( Do ). Distribusi tegangan didalam pipa yang bertekanan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Tegangan tangensial pada pipa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Dimana :

$P$  = Tekanan pada pipa

$$= 20 \text{ kg/cm}^2$$

$D_i$  = Diameter dalam pipa

$$= 52,5 \text{ mm}$$

$$= 5,25 \text{ cm}$$

$s(t)$  = Tebal pipa

$$= 3,91 \text{ mm}$$

$$= 0,391 \text{ cm}$$

Maka :

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot s}$$

$$= \frac{20 \text{ kg/cm}^2 \cdot 5,25 \text{ cm}}{2 \cdot 0,391 \text{ cm}}$$

$$= 134,27 \text{ kg/cm}^2$$

Diketahui dari perhitungan diatas bahwa :

$$\text{Tegangan tangensial } (\sigma_t) = 134,27 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan ijin } (\sigma_a) = 843,88 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk faktor keamanan ( $f_s$ ) yaitu :

$$f_s = \frac{\sigma_a}{\sigma_t} = \frac{843,88 \text{ kg/cm}^2}{134,27 \text{ kg/cm}^2} = 6,28$$

Maka untuk pemilihan bahan berdasarkan tegangan yang terjadi aman digunakan.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari perencanaan pipa water wall katel untuk keperluan pengolahan buah kelapa sawit maka dari perhitungan diatas diperoleh sebagai berikut :

##### 1. Katel uap

- Jenis katel Katel pipa air
- Kapasitas 20 ton uap/jam
- Temperatur kerja uap saturasi 211,28°C
- Tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup>

##### 2. Bahan bakar

- Bahan bakar yang digunakan Cangkak dan serabut
- Perbandingan bahan bakar 1 : 3 ( 25 % cangkak dan 75 % serabut )
- Nilai kalor bawah 4344,57 kkal/kg<sub>bb</sub>
- Kebutuhan bahan bakar 3350,15 kg<sub>bb</sub>/jam
- Kebutuhan udara pembakaran 26198,17 kg<sub>ud</sub>/jam

##### 3. Ukuran ruang bakar

- Panjang 4 meter
- Lebar 3,5 meter
- Tinggi 5,1 meter
- Temperatur nyala api 946,13 °C
- Temperatur pembakaran 1407,5 °C

UNIVERSITAS MEDAN AREA

4. Ukuran bidang pemanas water wall

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

- Bahan	Seamless Carbon Steel A53 GradeA
- Diameter luar ( Do )	60,32 mm
- Diameter dalam ( Di )	52,50 mm
- Tebal pipa ( t )	3,91 mm
5. Jumlah pipa water wall	
- Bagian depan	44 buah
- Bagian belakang	44 buah
- Bagian samping kanan dan kiri	78 buah
- Jumlah pipa seluruhnya	116 buah
6. Panjang pipa water wall	
- Bagian depan	9 m
- Bagian belakang	6,6 m
- Bagian samping	11,1 m
7. Luas bidang pemanas water wall	
- Bagian depan	37,64 m <sup>2</sup>
- Bagian belakang	27,57 m <sup>2</sup>
- Bagian samping	81,55 m <sup>2</sup>
8. Tegangan yang terjadi pada pipa	
- Tegangan ijin pada pipa ( $\sigma_a$ )	843,88 kg/cm <sup>2</sup>
- Tegangan tangensial pada pipa ( $\sigma_t$ )	134,27 kg/cm <sup>2</sup>

## 6.2. Saran

Setelah melakukan survey dan membandingkan hasil perhitungan maka

UNIVERSITAS MEDAN AREA

penulis ingin memberikan beberapa saran antara lain :

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

1. Mempertahankan dan meningkatkan kualitas pipa waterwall boiler.
2. Memastikan pipa waterwall dalam keadaan baik sebelum melakukan pengoperasian boiler.
3. Perawatan pipa waterwall harus dilakukan secara teratur.
4. Temperatur pipa waterwall yang diterima dari ruang bakar harus stabil.
5. Lebih mengutamakan dan mempertahankan keselamatan kerja.
6. Kepada Dosen Pembimbing tugas sarjana dalam membimbing harus lebih mendetail.
7. Kepada rekan mahasiswa agar dalam menyusun tugas sarjana dengan baik dan benar.





## DAFTAR PUSTAKA

1. J. P. Holman, E. Jasjfi, “Perpindahan Kalor”, Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
2. Bernhardt G. A Skrotzki dan William A. Vopat, “Power Setering Engenering and Econmy” , New Delhi, 1979.
3. Ir. Syamsir A. Muin, “Pesawat-Pesawat Konpersi Energi I (Ketel Uap)”, Edisi Pertama, Penerbit CV. Rajawali, Jakarta, 1998.
4. Ir. M.J. Djokosetyartdjo, ”Ketel Uap” Edisi Ketriga, Penerbit PT. Pradnya Permata , Jakarta, 1993.
5. Raswari, “Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan”, Edisi Kedua, Penerbit Universitas Indonesia (UI – Press), Jakarta, 1986.
6. Ir. Anton Budiman dan Ir. Bambang Priambodo, “Elemen mesin” Jilid I Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
7. ESM Tambunan, Fajar H Karo – Karo Be, “Ketel Uap”, Edisi Pertama, Penerbit Karya Agung, Jakarta, 1993.
8. Morse, F. T, “Power plant enginerig Ahreted East Wolt Press Me Grawhill book Go, New York, 1979.
9. Kenst, Mechanigal Enginerig 19<sup>th</sup> Editioanal, New York, 1997.