

**PEMBUATAN *BOILER* PIPA AIR SEDERHANA PADA
MAKET PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**



FIRMANSYAH

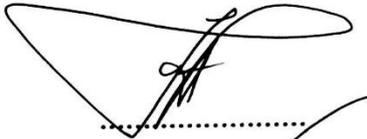
5115122616

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2017

LEMBAR PENGESAHAN
PEMBUATAN *BOILER* PIPA AIR SEDERHANA PADA MAKET
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
FIRMANSYAH / 5115122616
PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Purwanto G.,MT (Ketua Penguji)		22.02.2017
Massus Subekti, MT (Sekretaris)		17-02-2017
Dr. Daryanto, MT (Dosen Ahli)		21-02-2017
Dr. Suyitno, M.Pd (Dosen Pembimbing I)		20.02.2017
Imam Arif Rahardjo, M.T (Dosen Pembimbing II)		29-02-2017

Tanggal Lulus : 10 Februari 2017

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian dari saya dengan arahan dari dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Februari 2017

Yang Membuat Pernyataan



Firmansyah

5115122616

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanallahuwataala yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam.

Skripsi dengan judul “Pembuatan *Boiler* Pipa Air Sederhana pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap” yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Dalam kesempatan kali ini, izinkan penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungannya baik moril maupun materiil.
2. Bapak Massus Subekti, MT selaku koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr. Suyitno, M.Pd dan Bapak Imam Arif Rahardjo, MT selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan serta pengarahan selama penyusunan skripsi.
4. Habib Sulistyanto dan Rizky Septianto selaku teman kelompok yang telah berkerja sama dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman Keluarga Cemara dan RETRO '12 yang selalu memberikan dukungan, semangat positif serta ilmu yang bermanfaat.

6. Dan seluruh pihak lain yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian serta dalam penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu per satu.

Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, baik dalam sistematika penulisan maupun dalam isi materinya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi peneliti dan pengembangan selanjutnya.

Jakarta, Februari 2017

Penulis

Firmansyah

ABSTRAK

FIRMANSYAH, Pembuatan *Boiler* Pipa Air Sederhana pada Maket Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Skripsi. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta 2017. Dosen Pembimbing Dr. Suyitno, M.T dan Imam Arif Rahardjo, M.T.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat maket *boiler* pipa air sederhana. *Boiler* ini menghasilkan uap dan selanjutnya uap tersebut akan dialirkan melalui pipa untuk memutar turbin. Kecepatan aliran uap akan diatur melalui katup sehingga dapat memenuhi kebutuhan uap pada turbin untuk memutar pada RPM yang telah ditentukan.

Penelitian ini menggunakan metode Deskriptif Analisis dengan pendekatan Kuantitatif. Jenis penelitian yang digunakan yaitu rekayasa teknik yang meliputi perencanaan, analisis kebutuhan, perancangan dan pembuatan *boiler* pipa air. *Boiler* terdiri dari 3 bagian utama yaitu tangki *boiler*, ruang bakar, dan pipa-pipa. Tangki *boiler* berbentuk tabung dengan dimensi tinggi 40 cm dan diameter 35 cm, dengan tebal pelat yang digunakan sebesar 0,4 cm. ruang bakar berbentuk kubus dengan panjang sisi 40 cm dan tebal pelat 0,12 cm. Pipa *boiler* terdiri dari pipa *water tube* dan pipa *superheater*. Pipa *boiler* menggunakan pipa tembaga. Diameter pipa *water tube* ½ inchi sedangkan diameter pipa *superheater* yaitu 3/8 inchi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *boiler* pipa air sederhana telah berhasil bekerja dimana alat ini dapat menghasilkan tekanan sebesar 8 kg/cm² pada suhu 164°C – 170°C.

Kata kunci:

Boiler, tekanan, suhu.

ABSTRACT

FIRMANSYAH, Boiler Making Simple Water Pipe on Mockups fired power plant, Thesis. Jakarta: Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2017. Supervisor Dr. Suyitno, M.T and Imam Arif Rahardjo, M.T.

The purpose of this research is to create mockups of simple water tube boilers. This boiler produces steam and then the steam will flow through a pipeline to turn turbines. Velocity steam flow through the valve will be regulated so as to meet the needs of the steam turbine to rotate at a predetermined RPM.

This research uses descriptive analysis method with quantitative approach. The type of research used is technical engineering including planning, requirements analysis, design and manufacture of boiler water pipe. Boiler has three main parts: the tank boiler, combustor, and pipes. Tubular boiler tank has 40 cm of height and 35 cm of diameter, with thick plates that are used by 0.4 cm. cube-shaped combustion chamber with sides of length 40 cm and 0.12 cm thick plate. Boiler pipe consists of a water tube pipe and a superheater pipe. Boiler pipes using copper pipe. The Diameter of water tube pipe is $\frac{1}{2}$ inch and the diameter of superheater pipe is $\frac{3}{8}$ inch.

The results showed that a simple water tube boilers have managed to work out where this tool can generate a pressure of 8 kg / cm² at a temperature of 164°C - 170°C.

Keywords:

Boilers, pressure, temperature.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II. KAJIAN TEORI	
2.1 Ketel Uap (<i>Boiler</i>)	5
2.1.1 Ketel Tangki (<i>Shell Type Boiler</i>)	6
2.1.2 Ketel Uap Pipa Api	6
2.1.3 Ketel Uap Pipa Air	9
2.1.4 Bagian Utama Ketel Uap	16
2.1.5 Instrumen Ketel Uap	21
2.2 Pengertian Maket	25
2.3 Prosedur Penelitian	26
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Metode Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.4 Diagram Alir Penelitian	29

3.5	Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	31
3.6	Teknik Analisis Data	46
BAB IV.HASIL PENELITIAN		
4.1	Deskripsi Hasil Penelitian	47
4.2	Analisis Data Penelitian dan Pembahasan	52
4.3	Aplikasi Hasil Penelitian	60
BAB V . KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN-LAMPIRAN		63

DAFTAR TABEL

TABEL 3.1 Beban Spesifik Ruang Bakar	39
TABEL 3.2 Penentuan Harga Koefisien Y	43
TABEL 3.3 Harga Perlakuan Izin	43
TABEL 3.4. Tabel Pengukuran temperatur dan tekanan	48
TABEL 4.1. Tabel Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 10 L.....	51
TABEL 4.2. Tabel Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 13 L.....	52
TABEL 4.3. Tabel Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 19 L.....	54
TABEL 4.4. Tabel Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 25 L.....	55
TABEL 4.5. Tabel Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 28 L.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembangkit Uap Pipa Api <i>Stead</i>	6
Gambar 2.2. Bagan Ketel Uap Pipa Api Pipa Horizontal Model Lama	7
Gambar 2.3. Ketel Uap Pipa Air Model Lama: (a) Tangki Memanjang (b) Tangki Menyilang	9
Gambar 2.4. Ketel Uap Stirling Empat Tangki Model Lama.....	11
Gambar 2.5. Bagan Diagram Alir Pembangkit Uap Modern.....	14
Gambar 2.6. Skema Drum/ Tangki Boiler	15
Gambar 2.7. Skema Manometer	21
Gambar 2.8. Manometer	21
Gambar 2.9. <i>Sight Glass</i>	22
Gambar 2.10. Bimetal Termometer Model Payung.....	23
Gambar 2.11. Bimetal Termometer Model Raket.....	23
Gambar 2.12 . Tungku/ Kompor Gas.....	24
Gambar 3.1. Diagram Proses Perancangan	27
Gambar 3.2. Desain Tangki <i>Boiler</i>	33
Gambar 3.3. Desain Rangka Ruang Bakar.....	37
Gambar 3.4. Desain Ruang Bakar.....	38
Gambar 3.5. Desain Pipa <i>Boiler</i> Tampak Depan	43
Gambar 3.6. Desain Pipa <i>Boiler</i> Tampak Atas	43
Gambar 4.1. Maket <i>Boiler</i>	50
Gambar 4.2. Grafik Perubahan Suhu pada Volume Air 10 L	52
Gambar 4.3. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume 10 liter.....	52
Gambar 4.4. Grafik Perubahan Suhu pada Volume Air 13 L	53
Gambar 4.5. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 13 Liter	53
Gambar 4.6. Grafik Perubahan Suhu pada Volume Air 19 L	54
Gambar 4.7. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 19 Liter	54
Gambar 4.8. Grafik Perubahan Suhu pada Volume Air 25 L	56
Gambar 4.9. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 25 Liter	56
Gambar 4.10. Grafik Perubahan Suhu pada Volume Air 28 L	57
Gambar 4.11. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 28 Liter	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Diera modern sekarang ini, energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi umat manusia. Energi sangat dibutuhkan untuk melakukan berbagai aktifitas sosial dan ekonomi. Energi akan mendukung untuk pemenuhan kebutuhan-kebutuhan dasar seperti penyediaan pencahayaan, pengolahan pangan maupun pelayanan kepentingan-kepentingan umum.

Energi yang dimanfaatkan oleh manusia berasal dari ekstraksi dan konversi sumber-sumber energi yang ada di alam. Dalam suatu proses konversi energi dibutuhkan bahan bakar untuk mendukung prosesnya. Pemanfaatan bahan bakar untuk dikonversikan menjadi energi yang dibutuhkan oleh manusia dibagi menjadi konversi tenaga skala kecil, sedang dan besar. Untuk konversi tenaga skala kecil ataupun sedang dapat menggunakan mesin-mesin torak diesel, bensin ataupun turbin gas. Namun untuk konversi tenaga dengan skala besar dari bahan bakar konvensional menjadi energi yang dibutuhkan oleh manusia dapat menggunakan kombinasi ketel uap / *boiler* dengan turbin uap.

Pada dasarnya *boiler* adalah suatu wadah yang berfungsi sebagai pemanas air untuk menghasilkan uap. Menurut El Wakil, ketel uap / *boiler* merupakan bagian dari pembangkit uap dimana cairan jenuh diubah menjadi uap jenuh. Prosesnya adalah air dialirkan dari tangki *boiler* melalui pipa air dan dipanaskan di dalam ruang bakar sehingga air tersebut berubah menjadi uap. Uap yang terbentuk akan ditampung di dalam tangki hingga uap mencapai tekanan tertentu. Selanjutnya uap dialirkan melalui pipa ke turbin uap.

Berdasarkan proses yang terjadi pada *boiler*, maka diperlukan simulasi untuk mengetahui/menjelaskan kinerja dari *boiler*. Untuk mengimplementasikan simulasi dari kinerja sebuah *boiler* maka diperlukan pembuatan *boiler* dalam skala kecil.

Seorang maketor Professional, Keith Day menegaskan dalam tulisannya model making: Model Builder Supply (MBS) “*Scale model are still the most effective and instant way of completely communicating a concept, in spite of the advances in computerization*”. Media dua dimensi yang menggambarkan bentuk tiga dimensi seperti video ataupun poster memang cara yang baik untuk penyampaian informasi, namun menurut penulis media tersebut masih kurang efektif dibandingkan dengan maket. Seperti yang diungkapkan oleh Keith day model skala/maket masih lebih efektif karena beberapa kelebihanannya yaitu maket bersifat nyata, terwujud, jelas dan dapat teraba sehingga penyampaian informasinya dapat terkomunikasikan dengan baik. Hal ini juga didukung oleh penelitian seorang mahasiswa UI bahwa mahasiswa yang menggunakan maket sebagai media presentasinya tidak membutuhkan waktu yang lama untuk menjelaskan gagasan ide dari desainnya dibandingkan dengan mahasiswa yang tidak menggunakan maket.

Bertitik tolak dari uraian di atas, maka penulis tertarik untuk membuat maket *boiler* pipa air sederhana untuk menghasilkan uap dan uap yang dihasilkan tersebut akan dialirkan ke turbin melalui pipa-pipa untuk menggerakkan sebuah turbin.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat dijabarkan beberapa masalah yang dapat diidentifikasi, yaitu:

1. Apakah yang dimaksud dengan *boiler*?
2. Apa saja jenis-jenis *boiler*?

3. Apa saja instrumen dari *boiler* pipa air?
4. Apakah yang dimaksud dengan maket?
5. Bagaimanakah perencanaan model *boiler* pipa air sederhana?
6. Bagaimanakah cara kerja maket *boiler* pipa air sederhana?
7. Berapakah temperatur yang dihasilkan pada maket *boiler* pipa air sederhana?

1.3. Pembatasan Masalah

Dari uraian permasalahan yang telah diidentifikasi, untuk lebih menspesifikasikan penelitian dilakukan pembatasan ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Kapasitas tekanan yang ditampung *boiler* yaitu 8 kg/cm^2
2. Pengontrolan *valve* / katup dilakukan secara manual.
3. Tidak menggunakan *cyclone separator* untuk memisahkan uap dan air di dalam tangki.
4. Pipa yang digunakan adalah pipa tembaga.
5. Penyuplai udara secara alami dengan memanfaatkan lubang udara pada ruang bakar.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya, maka dapat ditarik rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah maket *boiler* pipa air sederhana dapat menghasilkan tekanan 8 kg/cm^2 ?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat maket *boiler* pipa air sederhana yang dapat menghasilkan tekanan 8 kg/cm^2 .

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat baik dari segi keilmuan maupun segi praktis. Adapun kegunannya sebagai berikut :

1. Dari segi keilmuan, hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi untuk mahasiswa prodi teknik elektro khususnya dan mahasiswa UNJ pada umumnya sebagai referensi bentuk dan fungsi *boiler* dalam versi kecil (maket), terlebih untuk mahasiswa teknik elektro yang mengambil konsentrasi pembangkit.
2. Dari segi praktis, hasil penelitian ini diharapkan mampu menambah wawasan dan ilmu pengetahuan bagi para masyarakat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ketel Uap (*Boiler*)

Pembangkit uap merupakan gabungan yang kompleks dari ekonomisator, ketel uap, pemanas lanjut, pemanas ulang, dan pemanas awal udara. Ketel uap (*boiler*) adalah bagian dari pembangkit uap dimana cairan jenuh diubah menjadi uap jenuh (El-Wakil, 1992: 72). *Boiler* merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin, 1998: 28).

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. *Boiler* mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar.

Suatu *boiler* harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Harus hemat pada pemakaian bahan bakar. Hal ini dinyatakan dalam randemen atau daya guna *boiler*.
- b. Berat *boiler* dan pemakaian ruangan pada suatu hasil uap tertentu harus kecil.
- c. Paling sedikit harus memenuhi syarat-syarat dari Dinas Pengawasan Dan Keselamatan Kerja Departemen Tenaga Kerja.

Adapun jenis-jenis ketel uap (*boiler*) adalah sebagai berikut (Surbakti,1985:43):

2.1.1. Boiler Tangki (*Shell Type Boiler*)

Boiler tangki adalah tangki atau selongsong (*shell*) silinder tertutup yang terisi air. Bagian dari selongsong sedemikian rupa sehingga bagian bawahnya secara sederhana terekspose ke panas, yaitu gas hasil pembakaran dari luar. *Boiler* jenis selongsong berkembang secara perlahan menjadi bentuk yang modern seperti *boiler* elektrik, yang mana panas disuplai oleh elektroda yang dipasang dalam air, atau akumulator, yang di dalamnya panas disuplai oleh uap dari sumber luar yang mengalir melalui pipa-pipa di dalam selongsong. Pada kedua kasus ini selongsong tidak terekspose ke panas.

Jenis *boiler* ini adalah tangki tegak dan tangki horizontal.

Tangki tegak:

1. *Boiler* silang
2. *Boiler* Cochran
3. *Boiler* Clarkson

Tangki horizontal:

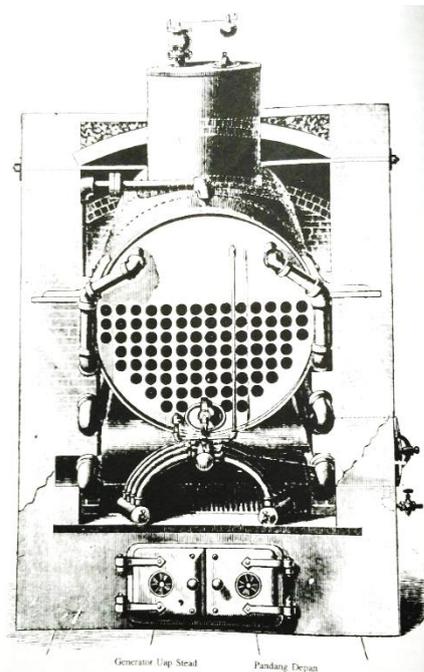
1. *Boiler* Cornwall
2. *Boiler* Lanchashire
3. *Boiler* Scot.

2.1.2. Boiler Pipa Api

Boiler pipa api (*fire tube boiler*) telah digunakan pada berbagai bentuk, awalnya untuk menghasilkan uap untuk keperluan industri sejak akhir abad ke delapan belas. *Boiler* ini tidak digunakan lagi pada instalasi daya utilitas yang besar-besaran. Namun ini masih kita bahas disini agar jelas perbedaannya dengan jenis pipa air yang modern. *Boiler* pipa api masih digunakan pada instalasi industri

untuk menghasilkan uap jenuh dengan tekanan tertinggi 18 dan kapasitas sampai 50.000 lbm/h (6,3 kg/s). Walaupun ukurannya telah meningkat, rancangan dasarnya tidak banyak berubah dalam 25 tahun terakhir.

Boiler pipa api merupakan bentuk khusus dari *boiler* jenis cangkang. *Boiler* jenis cangkang (*shell-type-boiler*) terdiri atas cangkang atau bejana tertutup, biasanya berbentuk silinder, yang berisi air. Sebagian dari cangkang itu, misalnya bagian bawahnya, diberi kalor, misalnya gas nyala api dari luar. *Boiler* cangkang telah berkembang menjadi bentuk yang lebih modern seperti *boiler* listrik, dimana kalornya dipasok oleh elektroda yang ditenamkan ke dalam air atau akumulator dimana kalor yang dipasok oleh uap dari sumber luar yang dilewatkan melalui pipa, di dalam cangkang. Dalam hal ini cangkang tidak lagi terkena panas langsung.



Gambar 2.1 Pembangkit Uap Pipa Api Stead

(sumber: Djokosetyardjo, 2003:199)

Boiler cangkang ini berkembang menjadi *boiler* pipa api. Sekarang gas panas, dan bukan uap yang dilewatkan melalui pipa. Oleh karena perpindahan kalornya

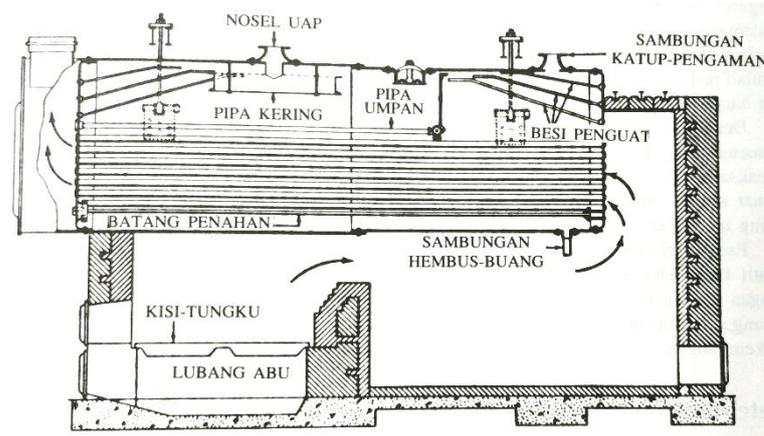
lebih baik, *boiler* pipa api lebih baik daripada *boiler* cangkang yang semula dan dapat mencapai efisiensi sekitar 70 persen.

Pipa api itu ditempatkan pada posisi horizontal. Pada gambar memperlihatkan *boiler* tabung api model lama. Pada gambar 2.1 ditunjukkan bagan sederhana *boiler* itu. Tanur dan kisi tungku ditempatkan di bawah pada bagian ujung depan cangkang. Gas dilewatkan secara horizontal disepanjang bagian bawah ke bagian belakang, kemudian berbalik arah, kemudian melalui pipa horizontal lagi ke cerobong yang terletak dibagian depan.

Ada dua jenis *boiler* pipa api:

- 1). Jenis kamar api
- 2). *Scotch marine*

Perhatikan gambar 2.2, pada *boiler* kamar api *fire box boiler*, tanur atau kamar api ditempatkan di dalam cangkang bersama-sama dengan pipa apinya. Pada *boiler Scotch marine* pembakaran berlangsung di dalam satu atau beberapa ruang berbentuk silinder yang biasanya terletak di dalam cangkang utama, didekat dasarnya. Gas keluar dari ruang ini disebelah belakang, berbalik arah dan kembali melalui pipa api ke depan dan keluar melalui cerobong. *Boiler Scotch marine* biasanya menggunakan bahan bakar cair atau gas.



Gambar 2.2. Bagan Boiler Pipa Api Pipa Horizontal Model Lama
(sumber: Djokosetyardjo, 2003:207)

2.1.3. Boiler Pipa Air

Perintis pembangkit uap modern adalah *boiler* pipa-air, yang dikembangkan oleh George Babcock dan Stephen Wilcox pada tahun 1867. Babcock dan Wilcox menamakannya *boiler* pipa air antiledak, *nonexplosive*, yang berkaitan dengan adanya ledakan-ledakan *boiler* yang merupakan bencana yang banyak terjadi pada masa itu. Namun, barulah pada awal abad kedua puluh, dengan berkembangnya turbin uap yang memerlukan uap pada tekanan dan aliran besar, perkembangan *boiler* pipa air menjadi kenyataan.

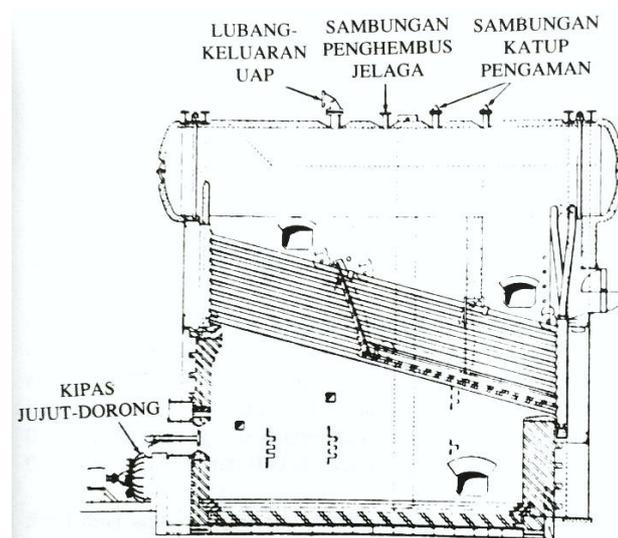
Dengan tekanan uap dan kaptitas yang lebih tinggi, *boiler* pipa-air memerlukan diameter cangkang yang lebih besar. Dengan diameter yang begitu besar, cangkang akan terpaksa beroperasi dibawah tegangan suhu dan tekanan yang sangat tinggi sehingga harus dibuat sangat tebal. Di samping itu, cangkang itu mudah mengalami endapan kerak dan sering mengalami ledakan. Biasanya pun akan mahal sekali.

Pada *boiler* pipa air, tekanan berada di pipa air dan tangki yang diameternya relatif kecil. Dari segi bentuknya, *boiler* pipa-air pada masa awalnya hampir serupa

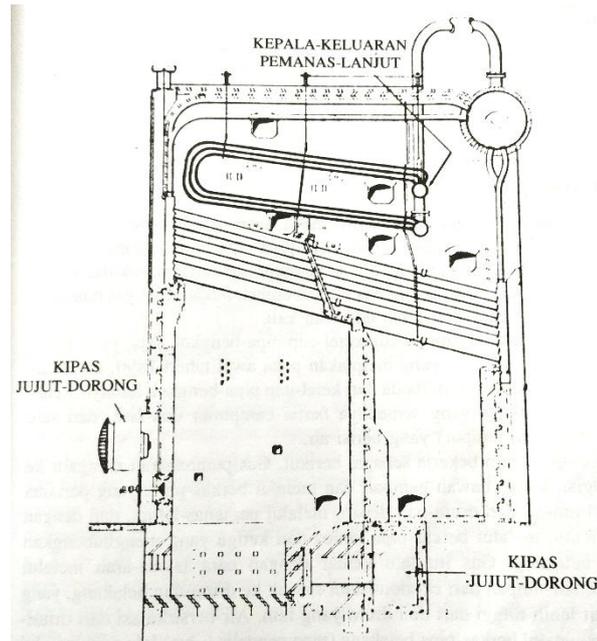
dengan *boiler* pipa-api, kecuali air dan uap bertekanan tinggi berada di dalam pipa, sedang gas pembakaran diluar pipa. *Boiler* pipa-air telah mengalami beberapa tahap perkembangan.

2.1.3.1. *Boiler* Pipa Lurus

Boiler pipa-air yang pertama adalah *boiler* pipa-lurus yang terdapat pada gambar 2.3, yang mempunyai pipa pipa lurus, dengan diameter luar 3 sampai 4 inci dipasang miring kira-kira 15° dan dengan jarak 7 sampai 8 inci menghubungkan dua buah pipa-kumpul vertical.



(a)



(b)

Gambar 2.3. Boiler Pipa Air Model Lama: (a) Tangki Memanjang

(b) Tangki Menyilang

(sumber: Djokosetyardjo, 2003:229)

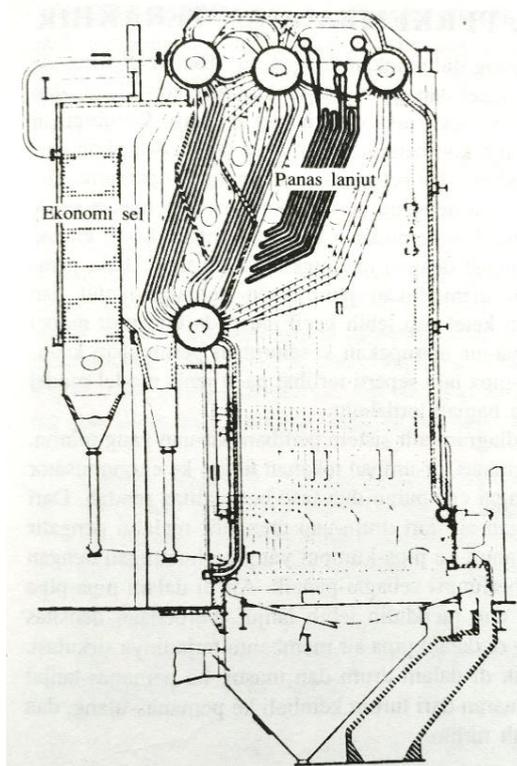
Pipa-kumpul yang satu adalah pengalir turun, atau pengisi turun yang mengisikan air yang hampir jenuh ke pipa-pipa itu. Sebagian air akan mendidih di dalam pipa. Pipa kumpul yang satu lagi adalah penarik atau pengisi ke atas, yang menerima campuran air dan uap. Densitas air di dalam pengalir turun lebih besar dari densitas dua fase di penaik, sehingga terdapat sirkulasi alami menurut arah jarum jam. Dengan meningkatnya kapasitas, maka masing-masing diperlengkapi dengan lebih dari satu pipa kumpul dan pipa-pipanya pun lebih dari satu dek. Campuran dua fase masuk ke dalam tangki atas yang mungkin disusun paralel terhadap pipa, lihat gambar 2.3 a tangki memanjang, atau tegak lurus terhadapnya pada gambar 2.3 b tangki menyilang/*cross tangki*. Tangki-tangki ini menerima air umpan dari pemanas air umpan yang terakhir dan mensuplai uap-jenuh ke dalam

pemanas-lanjut melalui pemisah-uap di dalam tangki yang memisahkan uap dan air yang menggelegak. Ujung bawah pengalir turun dihubungkan dengan tangki lumpur, yang mengumpulkan sedimen dari air yang bersirkulasi.

2.1.3.2. Boiler Pipa Bengkok

Ada beberapa versi *boiler* pipa bengkok. Pada umumnya, *boiler* pipa bengkok menggunakan pipa-pipa bengkok, bukannya pipa-pipa lurus, antara beberapa tangki atau tangki dan pipa-kumpul. Pipa-pipa itu dibuat bengkok sehingga masuk dan keluar tangki secara radial. Jumlah tangki berkisar antara dua sampai empat. Sekat-sekat gas dipasang, seperti di atas, untuk gas dapat melintasi lebih dari satu kali.

Disini kita cukup menunjukkan satu contoh *boiler* pipa bengkok saja, yaitu *boiler* Stirling empat tangki yang terdapat pada gambar 2.4, yang diciptakan pada awal tahun 1890, dan tidak banyak mengalami perubahan sejak itu. Berbeda dari *boiler* pipa bengkok lainnya, *boiler* ini mempunyai tiga tangki atas yang semuanya berisi campuran dua-fase, dan satu tangki bawah (juga disebut tangki lumpur) yang berisi air.



Gambar 2.4. Boiler Stirling Empat Tangki Model Lama

(sumber: Djokosetyardjo, 2003:240)

Boiler Stirling empat tangki bekerja sebagai berikut. Gas pembakaran mengalir keatas dari tanur pada bagian kanan bawah gambar, dan melalui berkas pipa, yang pertama yang menghubungkan tangki air dan tangki uap depan melalui pemanas lanjut dan dengan bantuan sekat-sekat tertentu melalui berkas pipa kedua dan ketiga yang menghubungkan tangki uap tengah dan belakang. Gas itu kemudian keluar dengan cara lawan arah melalui ekonomisator pipa lurus. Air umpam dari ekonomisator masuk ke tangki uap belakang yang letaknya mungkin sedikit lebih tinggi dari dua tangki yang lain. Air bersirkulasi dari tangki belakang ke tangki bawah melalui berkas pipa belakang kemudian naik melalui berkas pipa tengah dan depan ke tangki tengah dan depan. Ketiga tangki itu mempunyai daerah uap dan daerah air masing-masing yang saling berhubungan di atas dan dibawah.

Boiler Stirling empat tangki kemudian digantikan oleh jenis dua tangki yang lebih sederhana yang mempunyai tangki uap langsung di atas tangki air dengan satu berkas pipa bengkok ke depan, artinya ke bagian gas masuk dan satu lagi kebelakang. Dalam *boiler* Stirling dua tangki rancangan terakhir hanya ada satu laluan gas saja. Rancangan-rancangan *boiler* Stirling yang lebih mutakhir menggunakan dinding bagian dalam yang didinginkan dengan cara menempeli dinding bagian dalam dengan pipa-pipa yang membawa air ketel dari instalasi yang sama seperti pada gambar 2.4. Dengan demikian permukaan penyerap kalor akan bertambah dan bata api pelapis dinding juga terlindung dari suhu yang terlalu tinggi. Akibatnya, laju pembakaran menjadi lebih cepat dan laju aliran uap pun lebih tinggi.

Boiler Stirling biasanya mampu menangani kondisi dimana beban berubah dengan cepat dan berguna dalam hal kualitas air tidak selalu tinggi, serta dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar. *Boiler* ini digunakan dalam aplikasi stasioner maupun kelautan.

2.1.3.3. Boiler Pipa Air Perkembangan Terakhir

Dengan dikembangkannya dinding tanur yang didinginkan dengan air disebut dinding air (*water tube*), maka tanur, ekonomisator, ketel uap, pemanas lanjut, pemanas ulang dan pemanas awal udara akhirnya terintegrasi menjadi pembangkit uap modern. Pendinginan dengan air ini juga diterapkan untuk dinding kompartemen pemanas lanjut dan ekonomisator dan berbagai komponen pemisah dinding dan sebagainya. Penggunaan pemanas air umpan dalam jumlah besar sampai tujuh atau delapan, berarti ekonomisator makin kecil, sedang penggunaan

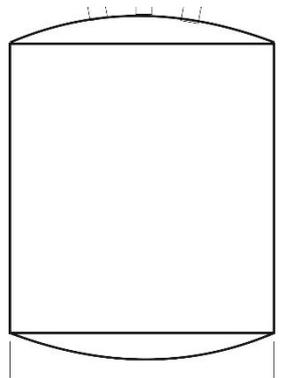
tekanan tinggi menyebabkan permukaan *boiler* makin kecil, karena kalor laten penguapan berkurang dengan cepat dengan meningkatnya tekanan.

Jadi, pembangkit uap tekanan tinggi yang modern memerlukan permukaan pemanas lanjut dan pemanas ulang lebih besar dan permukaan *boiler* lebih kecil daripada unit-unit model lama. Pada tekanan diatas 1500 psia, pipa air merupakan keseluruhan permukaan *boiler*. *boiler* itu tidak memerlukan lagi pipa-pipa lain seperti terlihat pada jenis model-model yang lebih tua yang dibicarakan pada dua bagian yang terlebih dahulu.

Pada gambar 2.5 ditunjukkan bagan diagram alir sistem pembangkit uap yang minim. Air pada 450 sampai 500° F masuk dan pemanas air umpan tekanan tinggi ke ekonomisator dan keluar dalam keadaan jenuh atau sebagai campuran dua fase berkualitas rendah. Dari situ masuk ke tangki uap pada bagian tengah air dari tangki uap mengalir melalui pengalir turun yang diisolasi yang terletak diluar tanur, ke pipa kumpul yang berhubungan dengan pipa air yang melapisi tanur dan berfungsi sebagai penaik. Air di dalam pipa-pipa itu menerima kalor dari gas pembakaran dan mendidih lebih lanjut. Perbedaan densitas antara air didalam pengalir turun dan yang di dalam pipa air membantu terjadinya sirkulasi. Uap dipisahkan dari air yang menggelegak didalam tangki dan masuk ke pemanas lanjut dan bagian tekanan tinggi pada turbin. Keluaran dari turbin kembali ke pemanas ulang dan sesudah itu uterus ke bagian tekanan rendah turbin.

2.1.4.1. Tangki

Tangki ketel ini merupakan pusat sirkulasi air dan uap. Pada perencanaan ini ketel menggunakan sebuah tangki berbentuk tabung seperti pada gambar 2.6. Air dalam ketel maksimal 3/4 tinggi tangki. Pembatasan isi tangki ini bertujuan karena pada tangki inilah nantinya akan dihasilkan uap jenuh dan untuk mengatasi efek yang tidak diinginkan, hal ini dapat dimengerti karena adanya perbedaan pemuaian antara dinding bagian bawah tangki dengan dinding bagian atas tangki. Dalam hal ini diusahakan jangan sampai terjadi tegangan akibat perbedaan panas.



Gambar 2.6. Skema Drum/ Tangki Boiler

(sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tebal drum atas ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Puji

Haryanto,2011:49):

$$t = \frac{P.R}{E.S-(1-\gamma) P} + C \dots\dots\dots \text{(pers. 2.1)}$$

Dimana :

t = Tebal minimum drum (cm)

P = Tekanan perencanaan maksimum (kg/cm²)

R = Jari-jari drum (cm)

S = Tegangan izin bahan (kg/cm²)

E = Efisiensi penyambungan

$y =$ Koefisien kerja drum yang dipengaruhi temperatur

$C =$ Konstanta penambah (cm)

Tegangan pada tangki ketel dikonsentrasikan pada dinding ketel dimana diperhitungkan terhadap beberapa kemungkinan:

a) Analisa tegangan belah

Agar tangki tidak belah maka (Puji Haryanto,2011:50):

$$t_b \geq \frac{d_i x p}{2 \cdot \sigma_t \left(1 + \frac{d_i}{L_i}\right)} \dots\dots\dots (\text{pers. 2.2})$$

Dimana:

$L_i =$ panjang tangki sebelah dalam (m)

$d_i =$ diameter dalam tangki (m)

$p =$ tekanan dalam tangki (N/m²)

$\sigma_t =$ tegangan Tarik yang diizinkan (N/m²)

b) Analisa tegangan putus

Agar tangki tidak putus maka (Puji Haryanto,2011:50):

$$t_p \geq \frac{d_i x p}{4 x \sigma_t} \dots\dots\dots (\text{pers. 2.3})$$

2.1.4.2. Kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar yang di suplai/diberikan keruang bakar sangat berpengaruh terhadap kondisi uap yang dihasilkan, agar kondisi uap yang dihasilkan ketel sesuai dengan kondisi uap yang diharapkan, maka suplai/pemberian bahan bakar harus diperhitungkan dengan baik.

Banyaknya bahan bakar yang diperlukan ketel untuk menghasilkan uap dengan kondisi yang diinginkan dapat dihitung dengan rumus (Puji Haryanto,2011:67):

$$W_{bb} = \frac{M_u \cdot (h_u - h_a)}{\eta \times LHV} \dots\dots\dots (\text{pers. 2.4})$$

Dimana:

W_{bb} = Pemakaian bahan bakar (kg/jam)

M_u = massa uap (kg)

h_u = entalpi uap (kkal/kg)

h_a = entalpi air masuk *boiler* (kkal/kg)

LHV = nilai pemakaian bahan bakar terendah (kkal/kg.bb)

η = efisiensi *boiler*

Kalor pembakaran adalah energi panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran sejumlah bahan bakar didalam rangka bakar. Besarnya kalor pembakaran yang dihasilkan pada rangka bakar dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Puji Haryanto,2011:68):

$$Q_{bb} = W_{bb} \times LHV \times \eta \dots\dots\dots (\text{pers. 2.5})$$

Dimana:

W_{bb} = Pemakaian bahan bakar (kg/jam)

LHV = Nilai pembakaran terendah bahan bakar (kkal/kg.BB)

η = Efisiensi

2.1.4.3. Ruang bakar

Ruang bakar merupakan komponen utama dari *boiler* yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar dan udara. Pada proses pembakaran ini dibutuhkan udara pembakaran yang cukup untuk menjamin tercapainya pembakaran yang sempurna. Dari ruang bakar ini gas nyala hasil pembakaran akan bergerak ke bidang-bidang pemanas.

Adapun ukuran dari ruang bakar pada *boiler* ini dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Puji Haryanto,2011:28):

$$V_{rb} = \frac{W_{bb} \times LHV}{Q_{rb}} \dots\dots\dots (\text{pers. 2.6})$$

Dimana :

- V_{rb} = Volume ruang bakar (m^3)
- W_{bb} = Pemakaian bahan bakar (kg/jam)
- LHV = Nilai pemakaian bahan bakar terendah (kkal/kg.)
- Q_{rb} = Beban spesfik ruang bakar (kkal. m^3)

Secara umum persyaratan ruang bakar harus memiliki:

- a) Konstruksi yang kuat.
- b) Bentuk sederhana dan tahan panas.
- c) Dapat menghasilkan pembakaran yang baik serta dapat dikontrol.

2.1.4.4. Pipa *Superheater*

Sebelum uap digunakan untuk menggerakkan turbin terlebih dahulu uap panas dilanjutkan agar uap benar-benar kering sehingga tidak merusak sudu turbin. *Superheater* adalah merupakan alat pemanas lanjut yang digunakan untuk memanaskan lanjutkan uap jenuh yang keluar dari pipa *water tube* menjadi uap yang benar-benar kering agar dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin.

Beberapa keuntungan pemakaian *superheater*:

- a) Uap panas lanjut memiliki entalpi yang besar dibandingkan uap jenuh pada tekanan yang sama, sehingga daya yang dihasilkan lebih besar.
- b) Uap panas lanjut tidak lagi mengandung butir-butir air sehingga tidak akan merusak turbin.

c) *Superheater* menyerap panas dari gas asap sehingga luas penyerap bidang pemanas menjadi lebih besar dan kehilangan panas dapat dikurangi.

Ukuran pipa *superheater* diambil lebih kecil dari pipa *water tube* dengan maksud agar penyerapan panas oleh uap lebih cepat, dan kecepatan uap didalam pipa *superheater* lebih besar.

Pemeriksaan ketebalan minimum dinding *superheater* terhadap kemungkinan terbelah akibat tekanan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Puji Haryanto,2011:32):

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2 \times S + 2 \cdot y} + C \dots\dots\dots(\text{pers. 2.7})$$

Dimana :

- t_m = Tebal pipa minimum pipa (cm)
- P = tekanan dalam pipa *superheater*(kg/cm²)
- D_o = diameter luar pipa (cm)
- S = tegangan izin bahan (kg/cm²)
- y = Koefisien yang bergantung pada temperatur pipa
- C = Perlakuan izin akibat tegangan dan korosi.

2.1.4.5. Pipa Water Tube

Pipa *water tube* adalah pipa-pipa yang ditempatkan didalam ruang bakar. Pipa ini berfungsi untuk menyerap panas dari bahan bakar yang terbakar didalam ruang bakar sehingga fasa air secara perlahan akan berubah menjadi fasa uap pada tekanan dan temperatur yang konstan. Dengan adanya pemberian panas meningkatkan massa jenis fluida. Fluida yang massa jenisnya lebih tinggi akan bergerak keatas sedangkan fluida yang massa jenisnya lebih rendah akanbergerak ke bawah, sirkulasi ini terjadi secara alami demikian seterusnya.

Pada pipa *water tube* terdapat kemungkinan pecah atau terbelah yang disebabkan adanya tekanan dari dalam dan luar pipa. Untuk itu diperlukan adanya pemeriksaan kelayakan tebal dari jenis pipa yang dipakai.

Pemeriksaan ketebalan minimum dinding *water tube* terhadap kemungkinan terbelah akibat tekanan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Puji Haryanto,2011:32):

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2 \times S + 2 \cdot y} + C \dots\dots\dots(\text{pers. 2.7})$$

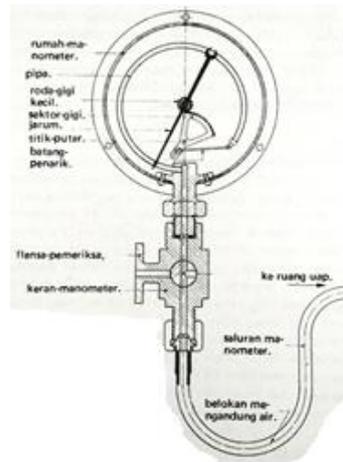
Dimana :

- t_m = Tebal pipa minimum pipa (cm)
- P = tekanan dalam pipa *water tube* (kg/cm²)
- D_o = diameter luar pipa (cm)
- S = tegangan izin bahan (kg/cm²)
- y = Koefisien yang bergantung pada temperatur pipa
- C = Perlakuan izin akibat tegangan dan korosi.

2.1.5. Instrumen ketel uap (*Boiler*)

2.1.5.1. Manometer

Pada gambar 2.7 dilukiskan sebuah manometer dari *Bourdon*. Manometer ini terdiri dari pipa kecil berbentuk lingkaran dengan penampang bulat panjang yang pada satu ujungnya ditutup. Ujung yang terbuka dari pipa ini dihubungkan dengan ruang uap ketel melalui saluran manometer. Oleh tekanan uap yang tinggi didalam ruang uap penampang pipa yang bulat panjang akan berubah bentuk menjadi lingkaran. Dengan melalui batang penarik dan sektor gigi, gerakan ini dipindahkan ke roda gigi kecil yang dipasang pada roda penunjuk.



Gambar 2.7. Skema Manometer

(sumber : De Bruijn, 1977:74)

Kedudukan jarum penunjuk dengan pembagian skala yang sama menunjukkan tekanan uap. Untuk mencegah suhu uap yang tinggi dapat merusak aparat, maka didalam belokan saluran manometer diisi dengan air dingin.



Gambar 2.8. Manometer

(sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.1.5.2. *Apparat gelas penduga (Sight Glass)*

Gelas penduga seperti pada gambar 2.9 dipasang di samping drum *boiler* gunanya untuk mengetahui tinggi permukaan air didalam ketel. Prinsip bekerjanya berdasarkan kepada hukum bejana berukuran.



Gambar 2.9. Sight Glass
(sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.1.5.3. Termometer

Termometer yang digunakan untuk mengukur suhu air dan suhu uap pada tangki ketel pada rangkaian alat penelitian ini adalah termometer bimetal. Termometer bimetal menggunakan logam sebagai bahan. Termometer bimetal berfungsi untuk menunjukkan adanya perubahan suhu dengan prinsip logam akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. Cara kerjanya yaitu keping bimetal dibentuk spiral dan tipis. Ujung spiral bimetal ditahan atau tidak bergerak dan ujung lainnya menempel ke gear penunjuk. Semakin besar suhu, keping bimetal semakin melengkung dan menyebabkan jarum penunjuk bergerak ke kanan ke arah angka yang lebih besar. Jika suhu turun, jarum penunjuk bergerak ke kiri ke arah angka yang lebih kecil. Skala yang dibuat biasa berbentuk lingkaran (De Bruijn, 1977:75).

Ada dua model termometer bimetal yang digunakan yaitu bimetal termometer model payung yang ditunjukkan pada gambar 2.10 dan bimetal termometer model raket yang ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.10. Bimetal Termometer Model Payung
(sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2.11. Bimetal Termometer Model Raket
(sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.1.5.4. Kompor gas

Kompor gas yang digunakan pada ruang bakar yaitu kompor gas bertekanan tinggi. Tujuannya agar proses pemanasan air hingga menjadi uap berlangsung dengan cepat dan maksimal. Gambar 2.12 merupakan kompor gas yang digunakan pada maket *boiler* dengan 768.



Gambar 2.12 . Tungku/ Kompor Gas
(sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.2. Pengertian Maket

Sebuah alat tidak ubahnya membutuhkan suatu rancangan yang detail tentang bagaimana alat tersebut akan dibuat. Dari mulai desain yang tidak hanya dilihat dari sisi depan atau sisi belakang, namun bisa dilihat dari segala sisi. Desain ini bisa berbentuk maket dalam bentuk yang lebih kecil dari aslinya.

Maket adalah model suatu bangunan yang diperkecil dengan perbandingan (skala) tertentu (Amin, 2006: 12). Dengan membuat maket kita dapat mengetahui bentuk ataupun detail bangunan tersebut nantinya. Dalam dunia arsitektur, maket adalah model miniatur atau tiruan dari objek bangunan yang diperkecil dengan skala tertentu.

Kriteria dari maket :

- a) Bentuk awal dari objek yang akan diproduksi dalam jumlah banyak.
- b) Maket dibuat berdasarkan pesanan untuk tujuan komersialisasi.
- c) Merupakan hasil penelitian dan pengembangan dari objek atau sistem yang direncanakan akan dibuat.
- d) Mudah dipahami dan dianalisis untuk pengembangan lebih lanjut.

2.3. Prosedur Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah rekayasa teknik dan metode penelitian yang digunakan yaitu metode deskriptif analisis yang meliputi perencanaan, analisis kebutuhan, perancangan dan pembuatan *boiler*. Pada proses pembuatan *boiler*, peneliti melakukan studi literatur mengenai komponen-komponen yang terdapat pada *boiler*. *Boiler* mempunyai tiga komponen utama yaitu tangki, ruang bakar dan pipa-pipa (*superheater* dan *water tube*).

Pada proses analisis kebutuhan, peneliti menentukan bahan-bahan yang digunakan pada pembuatan *boiler* seperti bahan yang digunakan pada pembuatan pipa *superheater* dan *water tube* adalah bahan tembaga. Sedangkan bahan dari tangki dan ruang bakar yaitu bahan baja rendah.

Tahapan selanjutnya yaitu merumuskan daya dan tekanan yang akan dihasilkan oleh *boiler*. dengan perumusan tersebut akan diketahui dimensi dari *boiler*. kemudian dilanjutkan ke tahap pembuatan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab bengkel mekanik L2 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta Rawamangun. Waktu penelitian ini dimulai pada Februari 2016, Semester 103 Tahun Akademik 2015/2016.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan membuat sebuah maket *boiler* untuk menghasilkan uap yang akan digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga uap, sehingga jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah rekayasa teknik dan metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif analisis.

Menurut Sugiono (2009: 29) adalah :“Metode Deskriptif adalah suatu metode yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa melakukan analisis dan membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum .”

Dengan kata lain penelitian deskriptif analitis mengambil masalah atau memusatkan perhatian kepada masalah-masalah sebagaimana adanya saat penelitian dilaksanakan, hasil penelitian yang kemudian diolah dan dianalisis untuk diambil kesimpulannya.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Alat Penelitian

Alat penelitian yang dipakai peneliti adalah sebagai berikut:

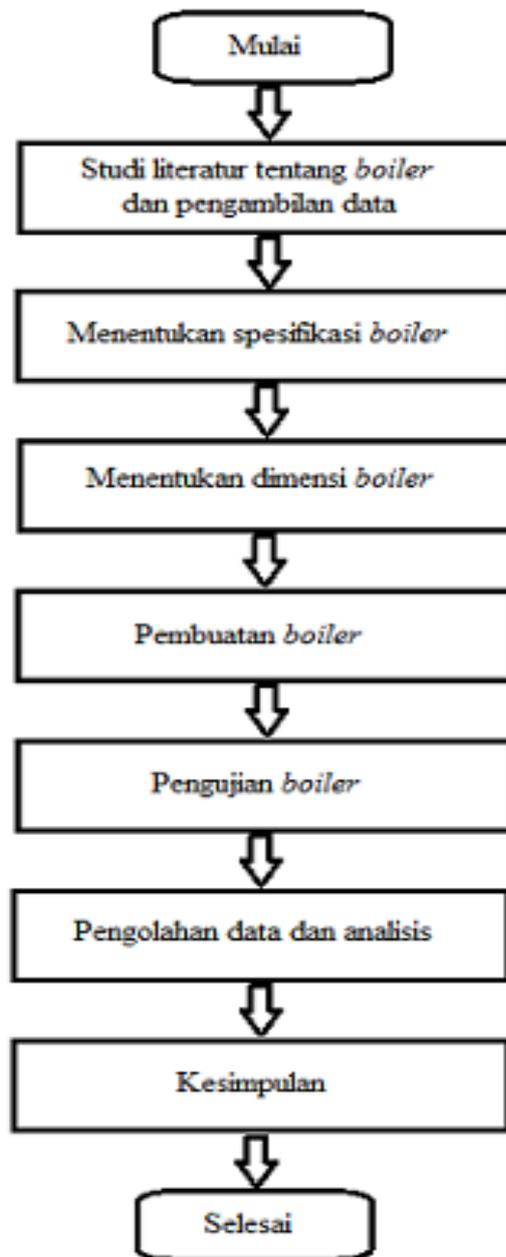
- a. Perangkat komputer /laptop
- b. Alat *Welding*
- c. Gerinda listrik
- d. Bor listrik
- e. Alat penggulung dan pemotong pelat besi
- f. Manometer
- g. Termometer
- h. *Sight glass*
- i. *Safety valve*
- j. Kompor gas bertekanan tinggi
- k. Kran $\frac{1}{2}$ “ dan $\frac{3}{8}$ “
- l. *Stopwatch*
- m. Timbangan

3.3.2 Bahan Penelitian

- a. Pelat besi 2 mm
- b. Pelat besi 1,2 mm
- c. Besi Siku
- d. Pipa tembaga $\frac{1}{2}$ inchi
- e. Pipa tembaga $\frac{3}{8}$ inchi
- f. Nepel $\frac{1}{2}$ ” , $\frac{3}{8}$ ” , $\frac{1}{4}$ ” , dan $\frac{1}{8}$ ”

3.4 Diagram Alir Penelitian

Dikarenakan penelitian merupakan pembuatan alat, oleh sebab itu dilakukan pendahuluan dengan cara perancangan alat terlebih dahulu. Sesuai dengan tujuan dan maksud pembuatan alat yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya maka langkah selanjutnya juga didasari oleh hal tersebut. Gambar 3.1 merupakan flowchart penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.1. Diagram Proses Perancangan

a. Studi literatur tentang *boiler* dan pengumpulan data

Studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai perencanaan maket *boiler* ini yang diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku, publikasi-publikasi ilmiah dan survei untuk mengumpulkan data mengenai komponen-komponen perakitan yang ada dipasaran.

b. Menentukan spesifikasi *boiler*

Dari beberapa literatur yang telah didapat maka langkah selanjutnya yaitu menentukan spesifikasi *boiler* yang akan dibuat.

c. Menentukan dimensi *boiler*

Penentuan dimensi boiler untuk mengetahui ukuran dari alat yang akan dibuat melalui perhitungan.

d. Pembuatan *boiler*.

Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan pada rancang bangun alat yang diperoleh dari perencanaan dan perhitungan. Dan dari hasil perhitungan dan perencanaan dapat diketahui dari spesifikasi dan dimensi dari komponen yang dibutuhkan untuk pembuatan alat. Dari komponen yang diperoleh kemudian dilakukan perakitan untuk membuat alat yang sesuai dengan desain yang telah dibuat sesuai dengan perencanaan

e. Pengujian *boiler*

Setelah rancang bangun alat selesai, silakukan pengujian alat tersebut dan dicatat hasil pengujiannya sesuai atau tidak dengan gambar perencanaan, perencanaan dan perhitungan, serta pembuatan dan perakitan yang telah dilakukan sebelumnya.

f. Pengolahan dan analisis data

Tahap ini dilakukan dengan mengolah dan menganalisis data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Setelah itu menarik kesimpulan dan pembuatan laporan.

3.5 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

3.5.1 Perhitungan Dimensi Bagian-Bagian Utama *Boiler*.

Sebelum melakukan perhitungan kebutuhan uap dan perhitungan dimensi *boiler*, maka terlebih dahulu harus mengetahui spesifikasi turbin uap sehingga uap yang akan disuplai bisa untuk memutar turbin dengan kecepatan yang sesuai.

Sedangkan spesifikasi turbin uap yaitu:

- d) Jenis turbin uap : Turbin *impuls single stage*
- e) Tekanan turbin uap : 8 kg/cm²
- f) Temperatur uap : 169°C
- g) Daya turbin uap : 80 watt
- h) Putaran yang dihasilkan : 1500 rpm
- i) Kecepatan teoritis uap masuk : 10,95 m/s
- j) Kecepatan uap masuk : 8,76 m/s
- k) Kecepatan relatif uap masuk : 8,05 m/s
- l) Kecepatan keliling : 2,6 m/s
- m) Kecepatan relative uap keluar : 6.6 m/s
- n) Kecepatan *absolute* uap keluar : 5,54 m/s
- o) Jumlah sudu gerak : 30 buah
- p) Jarak bagi antar sudu gerak : 14,6 mm
- q) Jari-jari sudu gerak : 2,63 mm

- r) Diameter cakram : 3,3 cm
- s) Jenis nosel : *Konvergen*
- t) Luas penampang leher nosel : 2,14 cm²
- u) Luas penampang sisi keluar nosel : 2,8 cm²

Sebelum merancang maket *boiler* pipa air sederhana terlebih dahulu kita harus menentukan kebutuhan panas *boiler*. Kebutuhan panas *boiler* dipengaruhi oleh daya yang akan dihasilkan. Diasumsikan perencanaan daya 2 kali daya turbin.

$$80 \text{ watt} \times 2 = 160 \text{ watt}$$

Selanjutnya daya tersebut dikonversikan ke HP (horsepower)

$$160 \text{ watt} = 160/746 = 0,214 \text{ HP}$$

Jika diketahui 1 HP = 8433 kkal/jam maka,

$$0,214 \text{ HP} = 1808,6 \text{ kkal/jam}$$

Jadi kebutuhan panas *boiler* (Q) adalah 1808,6 kkal/jam.

3.4.2.1 Tangki *Boiler*

Tangki *boiler* merupakan pusat sirkulasi air dan uap. Pada penulisan tugas ini tangki direncanakan satu buah dengan deskripsi sebagai berikut:

$$\text{Tinggi (L)} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter luar (D}_0\text{)} = 35 \text{ cm}$$

$$\text{Jari-jari} = 17,5 \text{ cm}$$

Maka luas penampang :

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot D \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 35 \cdot 40 \\ &= 4396 \text{ cm}^2 \\ &= 0,4396 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Tangki direncanakan dibuat dari bahan pelat baja karbon paduan rendah *low allow steel* SA-202, tegangan maksimum 147 MPa pada temperatur lebih kecil 900°F. Hasil tegangan yang diperoleh tersebut dapat dilihat pada tabel 1 yang terdapat pada lampiran 3. Tebal tangki ditentukan dengan persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$t = \frac{P.R}{E.S-(1-y)P} + C$$

Dimana :

t = Tebal minimum tangki (cm)

P = Tekanan perencanaan maksimum, menurut undang-undang uap yang berlaku di Indonesia tekanan yang terjadi di dalam tangki 1,5 dari tekanan operasi (8 kg/cm²). 1,5 x 8 kg/cm² = 12 kg/cm².

R = Jari-jari tangki direncanakan 17,5 cm

S = Tegangan izin bahan = 147 MPa = 1498,98 kg/cm²

E = Efisiensi penyambungan 0,9 (direncanakan)

y = Koefisien kerja tangki yang dipengaruhi temperatur = 0,4 untuk dibawah 900°F

C = Konstanta penambah = 0,1 in = 0,245 cm (faktor pengerjaan dan korosi).

Maka:

$$t = \frac{12 \cdot 17,5}{0,9 \cdot 1498,98 - (1-0,4) 12} + 0,245$$

$$= 0,4 \text{ cm}$$

Maka direncanakan :

Tebal tangki (t) = 0,4 cm

Diameter luar tangki (do) = 35 cm

Diameter dalam tangki (di) = do - 2t = 34,2 cm

Panjang tangki (L) = 40 cm

Agar tangki tidak belah maka dapat dihitung dengan persamaan 2.2. sebagai berikut:

$$t \geq \frac{d_i x p}{2 \cdot \sigma_t \left(1 + \frac{d_i}{L_i}\right)}$$

Dimana:

Li = panjang tangki sebelah dalam

$$= L - 2t = 40 \text{ cm} - 0,8 = 39,2 \text{ cm}$$

di = diameter dalam tangki = 34,2 cm

p = tekanan dalam tangki = 8 kg/cm²

σ_t = tegangan ijin bahan *low alloy steel grade B* 147 MPa =
1498,98 kg/cm² (lampiran 5)

Sehingga:

$$t \geq \frac{34,2 \times 8}{2 \cdot 1498,98 \left(1 + \frac{34,2}{39,2}\right)}$$

$$0,4 \text{ cm} \geq 0,09 \text{ cm}$$

Karena tebal tangki yang direncanakan lebih besar dari tebal tangki minimum yang diizinkan maka tangki aman dari kemungkinan belah.

Agar tangki tidak putus maka dapat dihitung dengan persamaan 2.3. sebagai berikut :

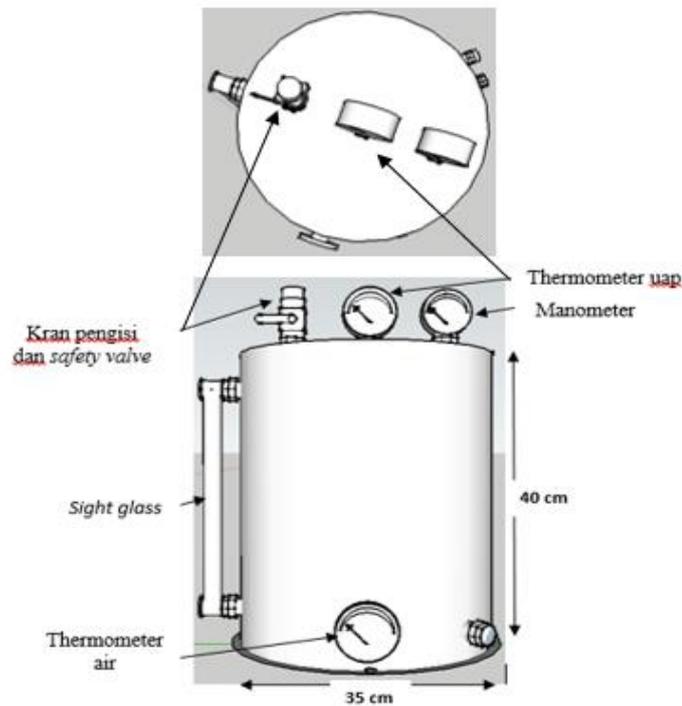
$$t_p \geq \frac{d_i x p}{4 x \sigma_t}$$

$$t \geq \frac{34,2 \times 8}{4 \times 1498,98}$$

$$0,4 \text{ cm} \geq 0,045 \text{ cm}$$

Karena tebal tangki yang direncanakan lebih besar dari tebal tangki minimum yang diizinkan maka tangki aman dari kemungkinan putus.

Berdasarkan perencanaan dan perancangan di atas, maka desain tangki *boiler* yang akan dibuat seperti pada gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2. Desain Tangki Boiler

(sumber: dokumentasi pribadi)

3.4.2.2 Kebutuhan Uap

Berdasarkan kinerja dari turbin uap, besarnya panas yang dibutuhkan $Q = 1808,6$ kkal/jam. Diperkirakan kehilangan kalor sebesar 20%-35%, diambil 25%, hal ini terjadi akibat panas yang diberikan sebagian diserap oleh dinding ruang bakar sehingga panas yang dibutuhkan adalah

$$\begin{aligned}
 Q &= 1,25 \times 1808,6 \text{ kkal/jam} \\
 &= 2260,8 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Dari hukum kesetimbangan thermal diperoleh bahwa panas yang diberikan (Q) sama dengan panas yang diterima

$$Q = M_u \cdot h_u$$

Dimana :

$$M_u = \text{massa uap (kg/jam)}$$

h_u = panas laten uap pada tekanan $8 \text{ kg/cm}^2 = 489,24 \text{ kkal/kg}$ (tabel 3 pada lampiran 3).

Sehingga,

$$2260,8 \text{ kkal/jam} = \text{Mu} \cdot 489,24 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{Mu} = 4,62 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,28 \text{ g/s}$$

3.4.2.3 Kebutuhan Bahan Bakar

Banyaknya bahan bakar yang diperlukan *boiler* untuk menghasilkan uap dengan kondisi yang diinginkan dapat dihitung dengan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$W_{bb} = \frac{\text{Mu} \cdot (h_u - h_a)}{\eta \times \text{LHV}}$$

Dimana:

$$W_{bb} = \text{Pemakaian bahan bakar (kg/jam)}$$

$$\text{Mu} = \text{massa uap (kg)}$$

$$h_u = \text{entalpi uap pada tekanan } 8 \text{ kg/cm}^2 = 489,24 \text{ kkal/kg}$$

(tabel 3 pada lampiran 3).

$$h_a = \text{entalpi air masuk } \textit{boiler} \text{ pada suhu } 25^\circ\text{C} = 24,9 \text{ kkal/kg}$$

(tabel 3 pada lampiran 3).

$$\text{LHV} = \text{nilai pemakaian bahan bakar terendah (kkal/kg.bb)}$$

$$\eta = \text{efisiensi } \textit{boiler} \text{ (0,7-0,9) diambil 0,7}$$

Temperatur air masuk ke *boiler* yaitu 25°C (pada suhu ruangan). Bahan bakar yang digunakan yaitu LPG yang mempunyai LHV (nilai pemakaian terendah) sebesar $46,607 \text{ MJ/kg} = 11130,22 \text{ kkal/kg}$, hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 2 yang terdapat pada lampiran 3.

Sehingga:

$$\begin{aligned}W_{BB} &= \frac{Mu \cdot (h_u - h_a)}{\eta \times LHV} \\&= \frac{4,62 \cdot (489,24 - 24,9)}{0,7 \cdot 11130,22 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}} \\&= 0,29 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Untuk mengetahui kalor pembakaran pada bahan bakar dihitung dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Q_{bb} &= W_{bb} \times LHV \times \eta \\&= 0,29 \times 11130,22 \times 0,7 \\&= 2259,43 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

3.4.2.4 Ruang bakar

Adapun ukuran dari ruang bakar pada *boiler* ini dihitung berdasarkan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$V_{rb} = \frac{W_{bb} \times LHV}{Q_{rb}}$$

Dimana :

V_{rb} = Volume ruang bakar (m^3)

W_{bb} = Pemakaian bahan bakar (kg/jam)

LHV = Nilai pemakaian bahan bakar terendah (kkal/kg)

Q_{rb} = Beban spesifik ruang bakar (kkal/m)

Table 3.1. adalah tabel yang menggambarkan hubungan antara jenis pembakaran, sistem pengoperasian dan beban spesifik dari ruang bakar.

Tabel 3.1. Beban Spesifik Ruang Bakar

<i>Method of firing</i>	<i>Continius operation</i>	<i>Peak operation</i>
	Beban spesifik BTU/ft ³ .jam	
<i>Chain or traveling – grate stoker</i>	30000	45000
<i>Underfeed stoker</i>	30000	45000
<i>Spreader stoker</i>	35000	45000
<i>Pulverized coal firing</i>	25000	35000
<i>Oil firing</i>	30000	60000
<i>Gas firing</i>	30000	60000

Sumber : Elonka & Kohen, Standard Heating And Power Boiler Plant, 1996

Dari tabel 3.1. di atas direncanakan pembakaran *gas firing*, beban spesifik ruang bakar (Q_{rb}) adalah 30000 BTU/ft³.jam atau 49638,662 kkal/m³.jam.

$$\begin{aligned}
 V_{rb} &= \frac{W_{bb} \times LHV}{Q_{rb}} \\
 &= \frac{0,29 \times 11130,22}{49638.662} \\
 &= 0,06 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Ruang bakar berbentuk kubus. Tinggi diasumsikan 40 cm sehingga panjag sisi

$$\text{dari ruang bakar adalah} = \sqrt{\frac{0,06}{0,4}} = 0,39 \text{ m.}$$

$$\text{Panjang} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 0,39 \text{ m} = 0,4 \text{ m}$$

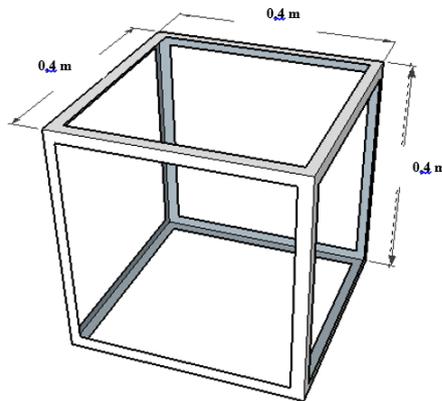
$$\text{Tinggi} = 0,4 \text{ m}$$

Luas permukaan ruang bakar

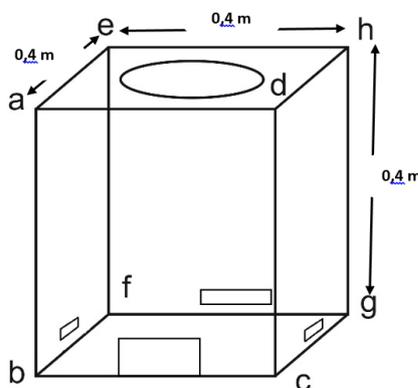
$$\begin{aligned}
 A_{rb} &= 2pl + 2pt + 2lt \\
 &= 2 (0,4 \times 0,4) + 2 (0,4 \times 0,4) + 2 (0,4 \times 0,4)
 \end{aligned}$$

$$= 0,96 \text{ m}^2.$$

Ruang bakar berbentuk kubus dengan panjang 0,4 m, lebar 0,4 m dan tinggi 0,4 m. Bahan yang digunakan yaitu pelat besi baja jenis low alloy steel dengan tebal yang direncanakan 0,012 cm. Sebelum pelat tersebut dibentuk terlebih dahulu dibuat rangka dari besi siku. Gambar desain rangka ruang bakar dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar desain ruang bakar dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3. Desain Rangka Ruang Bakar
(sumber: dokumentasi pribadi)



Gambar 3.4. Desain Ruang Bakar
(sumber: dokumentasi pribadi)

3.4.2.5 Pipa *superheater*

Untuk mencari diameter pipa yang akan digunakan maka digunakan persamaan *Hazen Williams*. Dengan melihat pada laju/ kecepatan aliran massa pada nosel turbin yang dirancang yaitu 10,95 m/s:

$$D = \left[\frac{3,59 \times 10^6 \times q}{C \times S^{0,54}} \right]^{0,38}$$

Dimana

D = diameter pipa (mm)

q = laju aliran massa pada nosel

C = koefisien kekasaran pipa (tabel 4 lampiran 3)

S = faktor slope (7,75 % pada panjang pipa 580 cm)

Sehingga,

$$D = \left[\frac{3,59 \times 10^6 \times 10,95}{141 \times (7,75)^{0,54}} \right]^{0,38}$$

$$= 7,73 \text{ mm} = 0,304 \text{ inch dibulatkan menjadi } 3/8 \text{ inch}$$

Jadi ukuran pipa *superheater* yang dipakai yaitu 3/8 inch dengan bahan tembaga. Pipa tersebut memiliki *Allowable Stress* sebesar 46 MPa, hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 1 yang terdapat pada lampiran 3.

Ukuran pipa *superheater* diambil lebih kecil dari pipa *water tube* dengan maksud agar penyerapan panas oleh uap lebih cepat, dan kecepatan uap didalam *superheater* lebih besar.

Dimensi pipa *superheater* (gambar 3.5 dan 3.6) sebagai berikut.

- a) Diameter luar (Do) = 3/8 " atau 0,95 cm
- b) Diameter dalam (Di) = 0,88 cm
- c) Tebal pipa (t) = 0,076 cm
- d) Jarak antar pipa = 5 cm
- e) Panjang lilitan (p) = panjang ruang bakar – jarak pinggir
= 40 cm – 5 cm = 35 cm (direncanakan 2 baris)

- f) Jumlah lilitan pipa = jarak pipa pada kedua pinggir ruang bakar
 = 2,5 cm maka $40 - 2,5 (2) = 35$ cm.
 jumlah lilitan pipa = $(35/5) = 7$ lilitan/baris.

Dimensi pipa *superheater* dapat dilihat pada gambar 3.5 dan 3.6. Pada pipa *superheater* terdapat kemungkinan pecah atau terbelah yang disebabkan adanya tekanan dari dalam dan luar pipa. Untuk itu diperlukan adanya pemeriksaan kelayakan tebal dari jenis pipa yang dipakai.

Pemeriksaan ketebalan minimum dinding *superheater* terhadap kemungkinan terbelah akibat tekanan dapat dihitung dengan persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2 \times S + 2 \times y} + C$$

Dimana :

t_m = Tebal pipa minimum pipa (cm)

P = tekanan dalam pipa (kg/cm^2)

D_o = diameter luar pipa (cm)

S = tegangan izin bahan (kg/cm^2) = 46 MPa = 469,07 kg/cm^2

y = Koefisien yang bergantung pada temperature pipa (tabel 3.2). = 0,4 (untuk temperatur kerja dibawah 900°F)

C = Perlakuan izin akibat tegangan dan korosi (tabel 3.3) = 0,00 inch (untuk pipa non baja)

Tabel 3.2. Penentuan Harga Koefisien Y

Temperatur, °F	900 and below	950	1000	1050	1100	1159 and above
Ferritic steels.....	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels...	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7

(sumber : croker and king)

Pada tabel 3.2. adalah tabel yang dipergunakan untuk menentukan harga koefisien yang bergantung pada harga temperatur pipa dan jenis bahan yang digunakan.

Tabel 3.3. Harga Perlakuan Izin

Type of pipe	C, in
Cast-iron pipe centrifugally cast or cast	
Horizontally in green and molds.....	0.14
Cast-iron pipe, pit cast.....	0.14
Threaded steel, wrought iron or nonferrous	
3/8 in. and smaller	0.05
½ in. and larger	Depth of thread
Grooved steel, wrought iron or nonferrous	Depth of thread
Plain end steel or wrought iron pipe or tube	
For sizes 1 in. and smaller	0.05
Plain end steel or wrought iron pipe or tube	
For sizes over 1 in.....	0.065
Plain end nonferrous pipe or tube.....	0.00

Pada tabel 3.3. akan ditentukan harga perlakuan izin (C) akibat tegangan dan korosi untuk bahan pipa sesuai dengan ukuran diameternya.

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 t_m &= \frac{P \times D_o}{2 \times S + 2 \cdot y} + C \\
 &= \frac{8 \frac{kg}{cm^2} \times 0,95 \text{ cm}}{2 \times 469,07 \frac{kg}{cm^2} + 2 \cdot 0,4} + 0 \\
 &= 0,008 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut di atas didapat tebal minimum pipa yang diizinkan untuk tekanan kerja 8 kg/cm² lebih kecil dibandingkan tebal pipa yang dipilih. Dengan demikian bahan dan ukuran pipa aman digunakan. Berdasarkan ketentuan $t_m \leq t$ maka pemilihan memenuhi persyaratan karena $t_m = 0,008 \text{ cm}$ lebih kecil dari $t = 0,076 \text{ cm}$.

Dengan demikian panjang total keseluruhan pipa (L_{tot}) adalah:

$$L_{tot} = \text{panjang lilitan} + \text{panjang menuju tangki}$$

$$= 2 \times ((7 \times 35 \text{ cm}) + 45 \text{ cm}) = 580 \text{ cm}.$$

Jadi panjang pipa *superheater* yang dibutuhkan adalah 580 cm.

3.4.2.6 Pipa *water tube*

Bahan dari pipa air adalah pipa tembaga ukuran ½ inch. Pipa tersebut memiliki *Allowable Stress* sebesar 46 MPa. Dimensi dari pipa tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5 dan 3.6. Spesifikasi dari pipa *water tube* yaitu:

- a) Jarak antar pipa = 5 cm
- b) Panjang lilitan (p) = 40 cm – 2,5 (2) = 35 cm
- c) Jumlah lilitan pipa = jarak pipa pada kedua pinggir ruang bakar
= 2,5 cm maka 40 – 2,5 (2) = 35 cm.
jumlah lilitan pipa = (35/5) = 7 lilitan.
- d) Diameter luar (Do) = ½ ” atau 1,27 cm
- e) Tebal pipa (t) = 0,076 cm
- f) Diameter dalam (Di) = 1,194 cm

Seperti pipa *superheater*, pipa *water tube* juga terdapat kemungkinan pecah atau terbelah yang disebabkan adanya tekanan dari dalam dan luar pipa. Untuk itu diperlukan adanya pemeriksaan kelayakan tebal dari jenis pipa yang dipakai.

Pemeriksaan ketebalan minimum dinding *water tube* terhadap kemungkinan terbelah akibat tekanan dapat dihitung dengan persamaan 2.7 sebagai berikut:

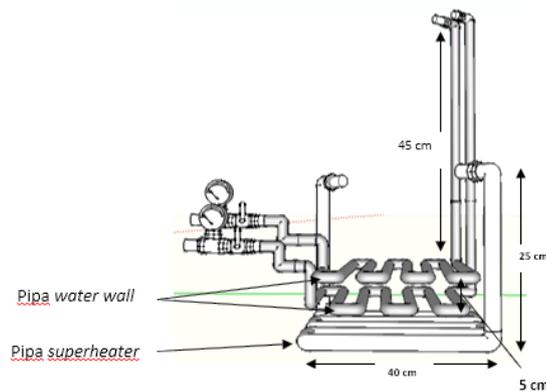
$$\begin{aligned}
 t_m &= \frac{P \times D_o}{2 \times S + 2 \times y} + C \\
 &= \frac{8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 1,27 \text{ cm}}{2 \times 469,07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 2 \cdot 0,4} + 0 \\
 &= 0,011 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut di atas didapat tebal minimum pipa yang diizinkan untuk tekanan kerja 8 kg/cm^2 lebih kecil dibandingkan tebal pipa yang dipilih. Dengan demikian bahan dan ukuran pipa aman digunakan. Berdasarkan ketentuan $t_m \leq t$ maka pemilihan memenuhi persyaratan karena $t_m = 0,011 \text{ cm}$ lebih kecil dari $t = 0,076 \text{ cm}$.

Dengan demikian panjang total keseluruhan pipa (L_{tot}) adalah:

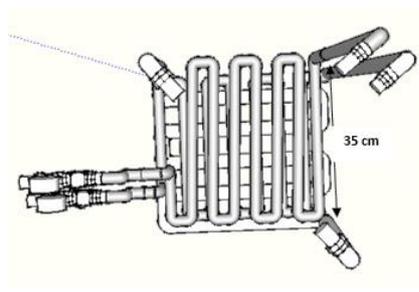
$$\begin{aligned} L_{tot} &= \text{panjang lilitan} + 2 \times \text{panjang menuju tangki} \\ &= (7 \times 35 \text{ cm}) + (2 \times 25 \text{ cm}) = 295 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Jadi panjang pipa *water tube* yang dibutuhkan adalah 295 cm.



Gambar 3.5. Desain Pipa Boiler Tampak Depan

(sumber: dokumentasi pribadi)



Gambar 3.6. Desain Pipa Boiler Tampak Atas

(sumber: dokumentasi pribadi)

Dari beberapa perhitungan yang telah dilakukan dan dengan mempertimbangkan unjuk kerja turbin uap maka dirancang *boiler* jenis pipa air.

Adapun spesifikasi *boiler* adalah sebagai berikut:

- a. Jenis *boiler* : *boiler* pipa air
- b. Tekanan *boiler* : 8 kg/cm²
- c. Temperatur uap : 169,6°C
- d. Bahan bakar : Gas LPG
- e. LHV : 11130,22 kkal/kg.
- f. Massa uap teoritis : 4,62 kg/jam
- g. Dimensi ruang bakar : 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m
- h. Diameter dan panjang pipa *water tube* : ½ inch dan 330 cm
- i. Diameter dan panjang pipa *superheater* : 3/8 inch dan
- j. Dimensi tangki : tinggi (L) 40 cm diameter (D) 35 cm

3.4.2 Pengambilan Data dan Pengujian

Teknik dan prosedur pengumpulan data adalah teknik atau cara yang dilakukan untuk mengumpulkan data. Adapun teknik dan prosedur pengumpulan dan penelitian ini adalah observasi atau pengamatan (pengujian).

Dalam penelitian ini ada dua nilai yang diambil atau menjadi parameter yang dicari yaitu temperatur dan tekanan. Tekanan *boiler* langsung dicatat dalam satuan kg/cm² atau bar yang terbaca pada manometer di *boiler*, suhu diukur dalam satuan celsius yang terbaca pada termometer.

Pengujiannya pun akan dilakukan variasi dengan mengubah-ubah salah satu variabelnya. Variasi percobaan kali ini dilakukan pada volume airnya. Akan

dilakukan sebanyak 5 kali pengujian dengan variabel volume air 10 liter, 13 liter, 19 liter, 25 liter dan 28 liter.

Data hasil penelitian kemudian dimasukkan kedalam tabel 3.4 dengan format sebagai berikut:

Tabel 3.4. Tabel Pengukuran Suhu (*Temperatur*)

No.	Lama pembakaran (menit)	Temperatur air (°C)	Temperatur uap (°C)	Tekanan pada tangki (kg/cm)	Tekanan <i>superheater</i> (kg/cm)
1	0				
2	5				
3	10				
4	15				
5	20				
6	25				
7	30				
8	35				
9	40				
10	45				
11	50				
12	55				
13	60				

3.6 Teknik Analisis data

Pada penelitian kali ini akan dianalisis perhitungan suhu dan uap (pada tabel uap kenyang) dengan dengan pengujian yang dilakukan. Dengan mengacu pada tabel *saturated steam* maka akan dibandingkan dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, apakah hasil pengujian sesuai dengan tabel atau tidak. Jika tidak, maka akan diketahui berapa persen perbedaannya.

Selanjutnya dilakukan variasi pengujian dengan tujuan untuk mengetahui yang mana lebih efisien dalam percobaan tersebut. Variasi tersebut pada volume airnya diantaranya 10 liter, 13 liter, 19 liter, 25 liter dan 28 liter.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Perancangan maket *boiler* digunakan untuk menghasilkan uap yang akan disalurkan melalui pipa untuk memutar turbin. Maket *boiler* tersebut terdiri dari 3 bagian utama yaitu tangki *boiler*, ruang bakar dan pipa-pipa (*water tube* dan *superheater*). Ketiga komponen tersebut bisa dilihat pada lampiran 1.

Dari hasil penelitian maka didapatkan *boiler* pipa air sederhana pada maket pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 4.1. Maket Boiler

Gambar 4.1 adalah maket *boiler* yang telah dibuat dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Jenis *boiler* : *boiler* pipa air
- b. Tekanan *boiler* : 8 kg/cm²
- c. Temperatur uap dihasilkan : 169,9°C
- d. Bahan bakar : Gas LPG

- e. LHV : 46,60 MJ/kg=11130,22 kkal/kg.
- f. Massa uap teoritis yang dihasilkan : 4,62 kg/jam
- g. Dimensi ruang bakar : 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m
- h. Diameter dan panjang pipa *water tube* : ½ inch dan 330 cm
- i. Diameter dan panjang pipa *superheater* : 3/8 inch dan
- j. Dimensi tangki : tinggi (L) 40 cm diameter (D) 35 cm

Pada pengujian alat yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan data perubahan temperatur yang diukur dengan termometer dan tekanan yang diukur dengan manometer.

Pembakaran *boiler* dilakukan di ruang bakar dengan menggunakan kompor mawar. Termometer dipasang pada dua tempat yaitu pada bagian bawah tangki *boiler* untuk mengukur temperatur air dan pada atas tangki *boiler* untuk mengukur temperatur uap yang dihasilkan. Terdapat 2 buah manometer yang dipasang pada *boiler*, satu terpasang di tangki untuk mengukur tekanan uap awal/ uap basah yang terbentuk sedangkan yang lainnya terpasang di ujung pipa *superheater* untuk mengukur tekanan akhir / *output* (uap kering) dari *boiler*. Data diambil setiap 5 menit untuk keakuratan data. Pengujian dilakukan 5 kali dengan volume yang berbeda-beda. Kelima pengujian tersebut dengan rincian, yang pertama volume air 10 liter, kedua 13 liter, ketiga 19 liter, keempat 25 liter dan kelima 28 liter. Data hasil penelitian dapat dilihat pada lampiran 2.

4.1.1 Hasil Pengujian Temperatur dan Tekanan Uap pada Volume Air 10 Liter

Pada tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran temperatur dan tekanan *boiler* pada volume air sebanyak 10 liter.

Tabel 4.1 Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 10 L

No.	Waktu pembakaran (menit)	Temperatur air / T1 (°C)	Temperatur uap / T2 (°C)	Tekanan tangki /P1 (kg/cm ²)	Tekanan <i>superheater</i> /P2 (kg/cm ²)
1	0	27	27	0	0
2	5	57	40	0.5	0.2
3	10	88	70	1	1
4	15	108	100	1,5	1,6
5	20	125	125	2,7	2,8
6	25	145	145	4,6	4,8
7	30	157	160	6,2	6,5
8	35	163	165	7	7,1
9	40	168	170	7,9	8

Pada tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran temperatur dan tekanan *boiler* pada volume air sebanyak 13 liter.

Tabel 4.2 Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 13 L

No.	Waktu pembakaran (menit)	Temperatur air / T1 (°C)	Temperatur uap / T2 (°C)	Tekanan tangki /P1 (kg/cm ²)	Tekanan <i>superheater</i> /P2 (kg/cm ²)
1	0	25	25	0	0
2	5	55	40	0,5	0,5
3	10	65	58	1,1	1,1
4	15	85	70	2,2	2,3
5	20	113	107	3,2	3,3
6	25	137	136	4,2	4,3
7	30	155	156	5,5	5,6
8	35	160	162	6,8	7
9	40	165	168	7,9	8

Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil pengukuran temperatur dan tekanan *boiler* pada volume air sebanyak 19 liter.

Tabel 4.3 Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 19 L

No.	Waktu pembakaran (menit)	Temperatur air / T1 (°C)	Temperatur uap / T2 (°C)	Tekanan tangki /P1 (kg/cm ²)	Tekanan <i>superheater</i> /P2 (kg/cm ²)
1	0	25	25	0	0
2	5	43	50	0,5	0,5
3	10	68	55	1	1
4	15	85	70	1,2	1,3
5	20	105	90	1,7	1,7
6	25	115	115	2,3	2,3
7	30	130	128	3,5	3,5
8	35	140	137	4	4
9	40	148	148	5	5,1
10	45	157	157	6,7	7
11	47	164	167	7,9	8

Pada tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran temperatur dan tekanan *boiler* pada volume air sebanyak 25 liter.

Tabel 4.4 Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 25 L

No.	Waktu pembakaran (menit)	Temperatur air / T1 (°C)	Temperatur uap / T2 (°C)	Tekanan tangki /P1 (kg/cm ²)	Tekanan <i>superheater</i> /P2 (kg/cm ²)
1	0	25	25	0	0
2	5	40	40	0	0
3	10	55	45	0,5	0,5
4	15	70	55	1	1
5	20	85	75	1,5	1,5
6	25	100	95	1,9	1,9

Tabel 4.4 (lanjutan)

No.	Waktu pembakaran (menit)	Temperatur air / T1 (°C)	Temperatur uap / T2 (°C)	Tekanan tangki /P1 (kg/cm ²)	Tekanan <i>superheater</i> /P2 (kg/cm ²)
7	30	110	105	2,4	2,4
8	35	122	120	2,9	3
9	40	137	137	3,6	3,7
10	45	148	148	4,5	4,7
11	50	158	160	6,1	6,2
12	55	167	168	7,9	8

Pada tabel 4.5 menunjukkan hasil pengukuran temperatur dan tekanan *boiler* pada volume air sebanyak 28 liter.

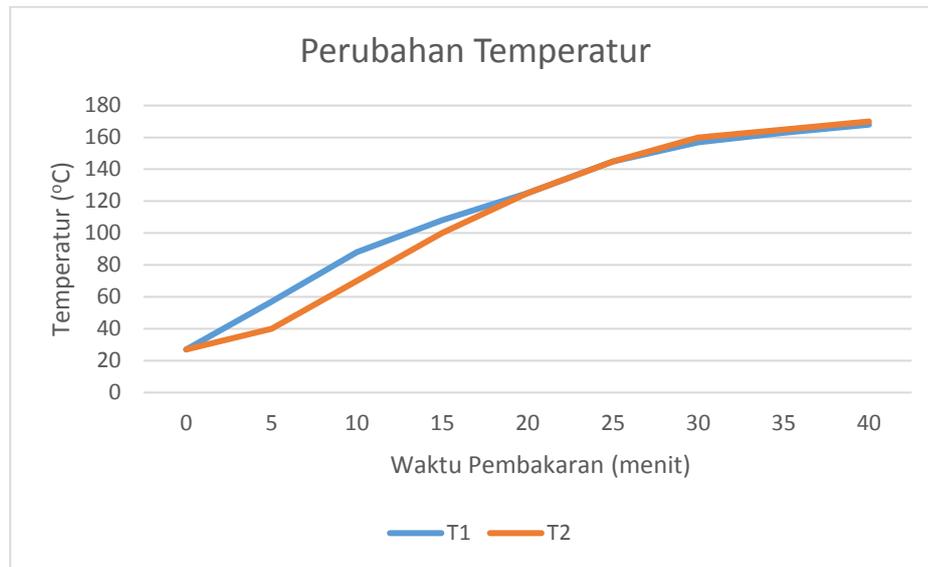
Tabel 4.5 Pengukuran Temperatur dan Tekanan pada Volume 28 L

No.	Waktu pembakaran (menit)	Temperatur air / T1 (°C)	Temperatur uap / T2 (°C)	Tekanan tangki /P1 (kg/cm ²)	Tekanan <i>superheater</i> /P2 (kg/cm ²)
1	0	27	25	0	0
2	5	45	35	0	0
3	10	60	46	0,8	0,7
4	15	78	65	1	1
5	20	92	80	1,2	1,2
6	25	100	90	1,4	1,4
7	30	110	105	1,7	1,7
8	35	120	119	2,3	2,3
9	40	132	132	3,2	3,3
10	45	140	139	4,2	4,3
11	50	149	150	5,4	5,6
12	55	159	163	6,8	7
13	57	164	168	7,8	8

4.2 Analisis Data dan Pembahasan

4.2.1 Analisis Data pada Volume Air 10 Liter

Berdasarkan tabel 4.1 temperatur mula-mula air yaitu 27°C naik perlahan hingga mencapai temperatur 170°C pada tekanan 8 kg/cm². Gambar 4.2 dan 4.3 merupakan grafik perubahan temperatur dan perubahan tekanan pada volume air 10 liter.



Gambar 4.2. Grafik Perubahan Temperatur pada Volume Air 10 L

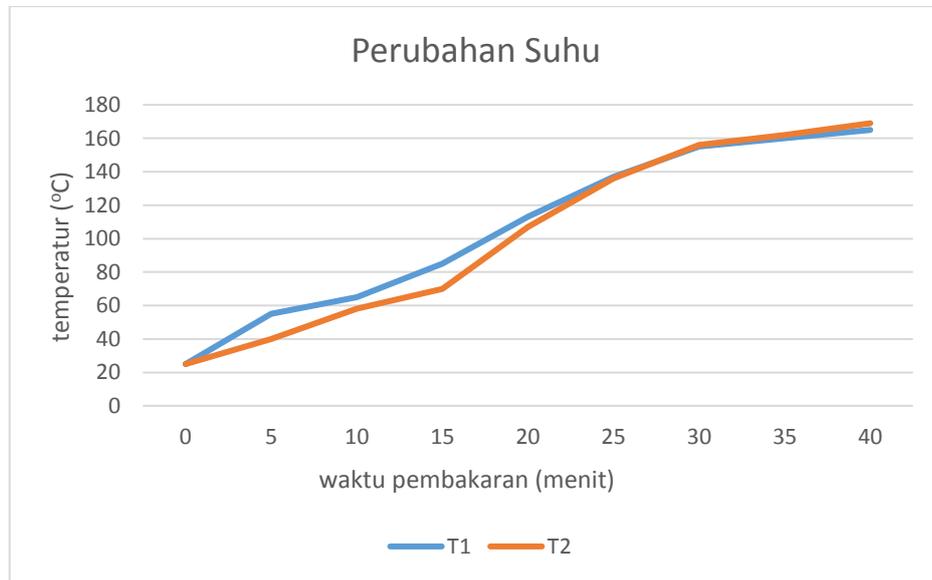


Gambar 4.3. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume 10 liter

Berdasarkan gambar 4.2 dan 4.3 , dapat dilihat bahwa untuk memanaskan air sebanyak 10 liter membutuhkan waktu 40 menit hingga mencapai temperatur air 168°C dan temperatur uap 170°C dengan ketentuan pada tekanan 8 kg/cm². Bahan bakar yang digunakan sebanyak $0,94 \text{ kg}/40 \text{ menit}$ atau $1,41 \text{ kg}/\text{jam}$. Sedangkan dari pengukuran, massa uap yang terbentuk $2,77 \text{ kg}/40 \text{ menit}$ atau $4,155 \text{ kg}/\text{jam}$. Sehingga uap yang terbentuk adalah $4,155 \text{ kg}/1,41 \text{ kg} = 2,94 \text{ kg}$.

4.2.2 Analisis Data pada Volume Air 13 Liter

Berdasarkan tabel 4.2 temperatur mula-mula air dan uap yaitu 25°C naik perlahan hingga mencapai temperatur uap 168°C pada tekanan 8 kg/cm². Gambar 4.4 dan 4.5 merupakan grafik perubahan temperatur dan perubahan tekanan pada volume air 13 liter.



Gambar 4.4. Grafik Perubahan Temperatur pada Volume Air 13 L



Gambar 4.5. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 13 Liter

Berdasarkan gambar 4.2, dapat dilihat bahwa untuk memanaskan air sebanyak 13 liter membutuhkan waktu 40 menit hingga mencapai temperatur air 165°C dan temperatur uap 169°C dengan ketentuan pada tekanan 8 kg/cm². Bahan bakar yang digunakan sebanyak 0,98 kg/40 menit atau 1,47 kg/jam. Sedangkan dari pengukuran, massa uap yang terbentuk 2,77 kg/40 menit atau 4,155 kg/jam. Sehingga uap yang terbentuk adalah $\frac{4,155 \text{ kg}}{1,47 \text{ kg}} = 2,82 \text{ kg}$.

4.2.3 Analisis Data pada Volume Air 19 Liter

Berdasarkan tabel 4.3 temperatur mula-mula air dan uap yaitu 25°C naik perlahan hingga mencapai temperatur uap 167°C pada tekanan 8 kg/cm². Gambar 4.6 dan 4.7 merupakan grafik perubahan temperatur dan perubahan tekanan pada volume air 19 liter.



Gambar 4.6. Grafik Perubahan Temperatur pada Volume Air 19 L



Gambar 4.7. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 19 Liter

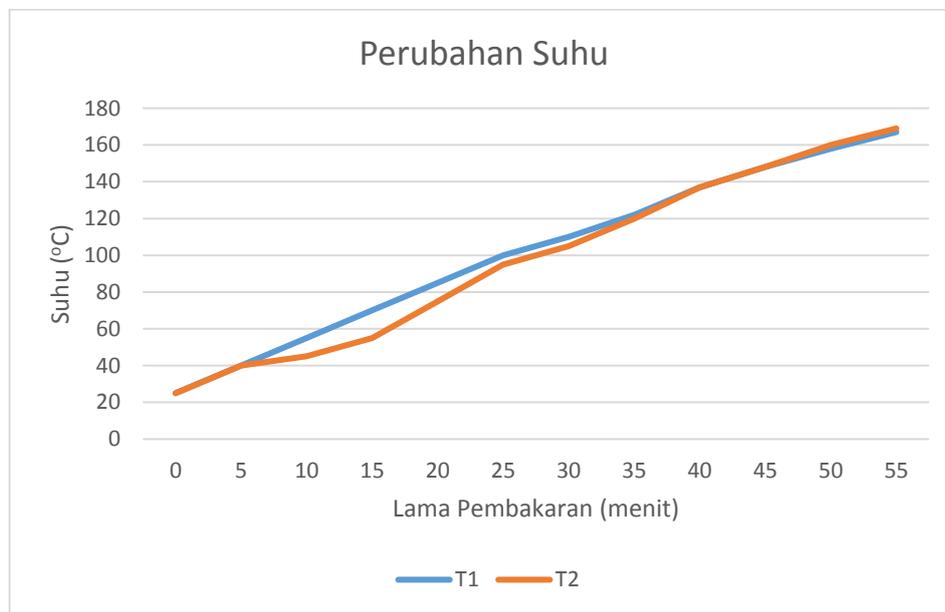
Berdasarkan gambar 4.3, bisa dilihat bahwa untuk memanaskan air sebanyak 19 liter membutuhkan waktu 47 menit hingga mencapai temperatur air 164°C dan temperatur uap 167°C dengan ketentuan pada tekanan 8 kg/cm². Bahan bakar yang digunakan sebanyak $1,1 \text{ kg}/47 \text{ menit}$ atau $1,40 \text{ kg}/\text{jam}$. Sedangkan dari

pengukuran, massa uap yang terbentuk $3,25 \text{ kg}/47 \text{ menit}$ atau $4,149 \text{ kg}/\text{jam}$.

Sehingga uap yang terbentuk adalah $4,149 \text{ kg}/1,40 \text{ kg} = 2,954 \text{ kg}$.

4.2.4 Analisis Data pada Volume Air 25 Liter

Berdasarkan tabel 4.4 temperatur mula-mula air dan uap yaitu 25°C naik perlahan hingga mencapai temperatur uap 168°C pada tekanan $8 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Gambar 4.8 dan 4.9 merupakan grafik perubahan temperatur dan perubahan tekanan pada volume air 25 liter.



Gambar 4.8. Grafik Perubahan Temperatur pada Volume Air 25 L



Gambar 4.9. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 25 Liter

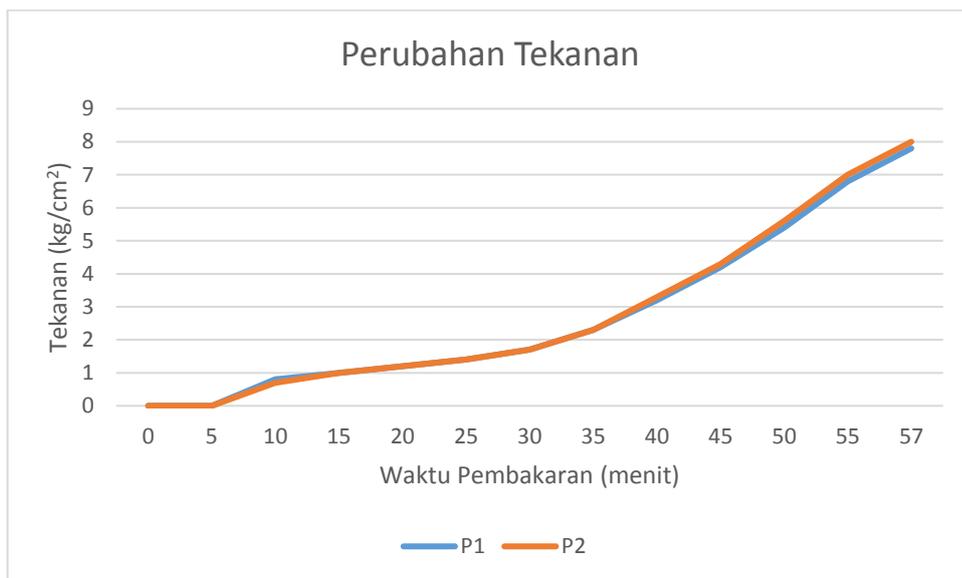
Berdasarkan gambar 4.4, bisa dilihat bahwa untuk memanaskan air sebanyak 25 liter membutuhkan waktu 55 menit hingga mencapai temperatur air 167°C dan temperatur uap 169°C dengan ketentuan pada tekanan 8 kg/cm^2 . Bahan bakar yang digunakan sebanyak $1,3\text{ kg}/40\text{ menit}$ atau $1,418\text{ kg}/\text{jam}$. Sedangkan dari pengukuran, massa uap yang terbentuk $3,81\text{ kg}/55\text{ menit}$ atau $4,156\text{ kg}/\text{jam}$. Sehingga uap yang terbentuk adalah $4,156\text{ kg}/1,418\text{ kg} = 2,93\text{ kg}$.

4.2.5 Analisis Data pada Volume Air 28 Liter

Berdasarkan tabel 4.5 temperatur mula-mula air dan uap yaitu 27°C dan 25°C naik perlahan hingga mencapai temperatur uap 168°C pada tekanan 8 kg/cm^2 . Gambar 4.10 dan 4.11 merupakan grafik perubahan temperatur dan perubahan tekanan pada volume air 28 liter.



Gambar 4.10. Grafik Perubahan Temperatur pada Volume Air 28 L

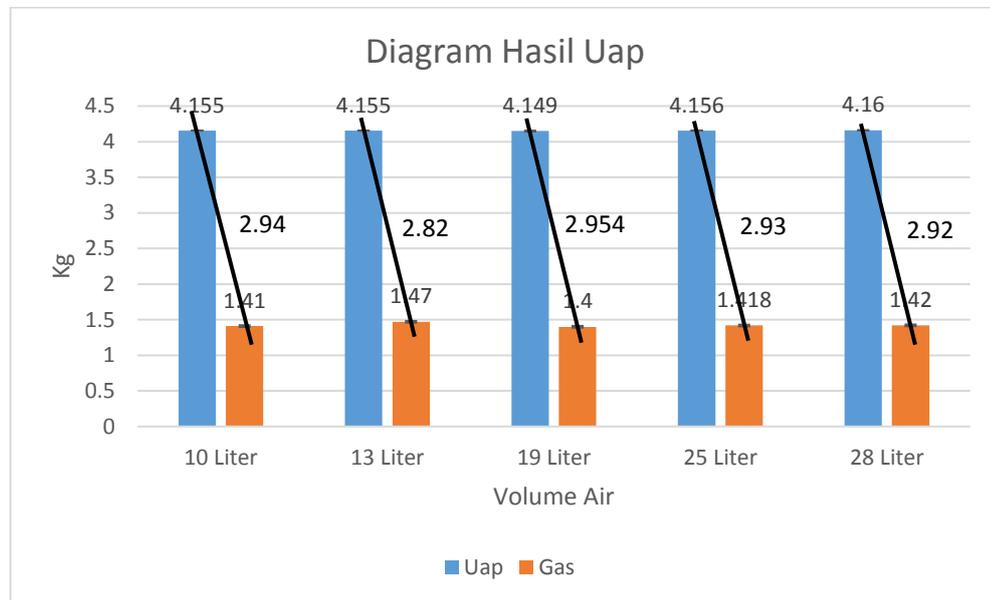


Gambar 4.11. Grafik Perubahan Tekanan pada Volume Air 28 Liter

Berdasarkan gambar 4.5, bisa dilihat bahwa untuk memanaskan air sebanyak 28 liter membutuhkan waktu 57 menit hingga mencapai temperatur air 164°C dan temperatur uap 169°C dengan ketentuan pada tekanan 8 kg/cm². Bahan bakar yang digunakan sebanyak $1,35 \text{ kg}/57 \text{ menit}$ atau $1,42 \text{ kg}/\text{jam}$. Sedangkan dari

pengukuran, massa uap yang terbentuk $3,952 \text{ kg}/57 \text{ menit}$ atau $4,16 \text{ kg}/\text{jam}$.

Sehingga uap yang terbentuk adalah $4,16 \text{ kg}/1,42 \text{ kg} = 2,92 \text{ kg}$.



Gambar 4.12. Diagram Hasil Uap

Dari gambar 4.12 menunjukkan bahwa pada kelima pengujian dengan perbedaan volume air maka volume air 19 liter yang menghasilkan massa uap yang lebih banyak daripada yang lain sebesar $2,954 \text{ kg uap/kg gas.jam}$. Pengukuran temperatur uap pada tekanan 8 kg/cm^2 yaitu $167^\circ\text{C} - 170^\circ\text{C}$. Pengukuran tersebut sesuai dengan perhitungan pada tabel uap kenyang (lampiran 3) sebesar $169,9^\circ\text{C}$.

4.3 Aplikasi Hasil Penelitian

Pengaplikasian dari produk penelitian yang telah dihasilkan adalah maket *boiler* pipa air sederhana ini dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran pada mata kuliah yang berkaitan untuk melihat langsung simulasi dan cara kerja *boiler* yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap tanpa mendatangi langsung ke pembangkit listrik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Setelah alat ini dibuat dan diuji coba maka dapat disimpulkan bahwa *boiler* pipa air sederhana dapat bekerja dengan menghasilkan tekanan sebesar 8 kg/cm^2 pada temperatur $164^\circ\text{C} - 170^\circ\text{C}$. Berdasarkan pengujian volume air 19 liter menghasilkan massa uap yang lebih banyak daripada 10 liter, 13 liter, 25 liter dan 28 liter.

5.2 SARAN

Penulis memiliki saran untuk para pembaca guna untuk melengkapi kekurangan-kekurangan dan kelemahan pada percobaan perancangan/ pembuatan *boiler* yaitu sebagai berikut.

1. Untuk pembuatan drum dan pipa *boiler* gunakan material yang tebal dan kuat agar tahan terhadap tekanan dan temperatur yang tinggi yang sesuai dengan standar ASME.
2. Dalam melakukan uji coba sebaiknya dilakukan dalam kondisi yang sama untuk mencegah perbedaan dari hasil baik dari temperatur maupun dari lama pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

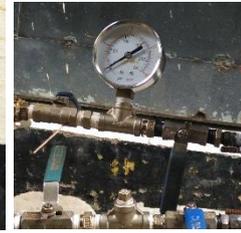
- ASME. 2010. *Boiler & Pressure Vessel Code II, Properties (Metric) Materials*. New York : Three Park Avenue
- De Bruijn, L, A dan Muilwijk, L. (1977). *Ketel Uap*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Djokosetyardjo, M.J. (1932). *Pembahasan Lebih Lanjut tentang Ketel Uap*. Jakarta: P.T Pradnya Pranata.
- El-Wakil, M.M. (1992). *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta: Erlangga.
- Hariyanto, Puji. 2011. Perencanaan Ketel Uap untuk Pengolahan Kelapa Sawit pada PT. Rama Jaya Pramukti [*skripsi*]. Pekanbaru: Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
- Kulshrestha, S. K. (1989). *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*. Jakarta: UI-Press.
- Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Press.
- Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati. (2006). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Samudra, Ahmad. 2007. Perancangan Model Ketel Uap Sederhana. [*skripsi*]. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surbakti, BM. (1985). *Pesawat Tenaga Uap 1 Ketel Uap*. Surakarta: Mutiara Solo.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Proses dan Hasil Pembuatan Maket *Boiler*



Lampiran 2 Dokumentasi pengujian Temperatur dan Tekanan



Lampiran 3 Data Pendukung Lain yang Berkaitan

Tabel 1. Maksimum Allowable Stress

Tegangan maksimum yang diperbolehkan pada suhu kamar

Material	Spesifikasi material	Minimum tensile strength (MPa)	Maximum allowable stress (MPa)
Carbon Steel	SA-30 firebox A	379	95
	SA-120 grade A	276	69
	SA-120 grade C	95	95
	SA-299	517	129
Low alloy Steel	SA-202 grade B	586	147
	SA-353 grade B (9% Ni)	655	164
	SA-410	414	103
Aluminium	SB-209 (11000-0)	76	16
Copper	SB-11	207	46
Stainless Steel	SA-240 (304)	517	129
	SA-240 (304L)	48	121
	SA-240 (316)	517	198
	SA-240 (410)	448	112
Monel	SB-127	483	121

Tabel 2. LHV dan HHV bahan bakar

Section: Appendix A
Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels

Fuels	Lower Heating Value (LHV) [1]			Higher Heating Value (HHV) [1]			Density
	Btu/ft ³ [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/ft ³ [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/ft ³
Gaseous Fuels @ 32 F and 1 atm							
Natural gas	983	20,267	47.141	1089	22,453	52.225	22.0
Hydrogen	290	51,682	120.21	343	61,127	142.18	2.55
Still gas (in refineries)	1458	20,163	46.898	1,584	21,905	50.951	32.8
Liquid Fuels	Btu/gal [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/gal [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/gal
Crude oil	129,670	18,352	42.686	138,350	19,580	45.543	3,205
Conventional gasoline	116,090	18,679	43.448	124,340	20,007	46.536	2,819
Reformulated or low-sulfur gasoline	113,602	18,211	42.358	121,848	19,533	45.433	2,830
CA reformulated gasoline	113,927	18,272	42.500	122,174	19,595	45.577	2,828
U.S. conventional diesel	128,450	18,397	42.791	137,380	19,676	45.766	3,167
Low-sulfur diesel	129,488	18,320	42.612	138,490	19,594	45.575	3,206
Petroleum naphtha	116,920	19,320	44.938	125,080	20,689	48.075	2,745
NG-based FT naphtha	111,520	19,081	44.383	119,740	20,488	47.654	2,651
Residual oil	140,353	18,968	39.466	150,110	18,147	42.210	3,752
Methanol	57,250	8,639	20.094	65,200	9,838	22.884	3,006
Ethanol	76,330	11,587	26.952	84,530	12,832	29.847	2,988
Butanol	99,837	14,775	34.366	108,458	16,051	37.334	3,065
Acetone	83,127	12,721	29.589	89,511	13,698	31.862	2,964
E-Diesel Additives	116,090	18,679	43.448	124,340	20,007	46.536	2,819
Liquefied petroleum gas (LPG)	84,950	20,038	46.607	91,410	21,561	50.152	1,923
Liquefied natural gas (LNG)	74,720	20,908	48.632	84,820	23,734	55.206	1,621
Dimethyl ether (DME)	68,930	12,417	28.882	75,610	13,620	31.681	2,518
Dimethoxy methane (DMM)	72,200	10,061	23.402	79,197	11,036	25.670	3,255
Methyl ester (biodiesel, BD)	119,550	16,134	37.528	127,960	17,269	40.168	3,361
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	123,670	18,593	43.247	130,030	19,549	45.471	3,017
Renewable Diesel I (SuperCetane)	117,059	18,729	43.563	125,294	20,047	46.628	2,835
Renewable Diesel II (UOP-HDO)	122,887	18,908	43.979	130,817	20,128	46.817	2,948
Renewable Gasoline	115,983	18,590	43.239	124,230	19,911	46.314	2,830
Liquid Hydrogen	30,500	51,621	120.07	36,020	60,964	141.80	268
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	93,540	15,094	35.108	101,130	16,319	37.957	2,811
Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	96,720	15,613	36.315	104,530	16,873	39.247	2,810
Tertiary amyl methyl ether (TAME)	100,480	15,646	36.392	108,570	16,906	39.322	2,913
Butane	94,970	19,466	45.277	103,220	21,157	49.210	2,213
Isobutane	90,060	19,287	44.862	98,560	21,108	49.096	2,118
Isobutylene	95,720	19,271	44.824	103,010	20,739	48.238	2,253
Propane	84,250	19,904	46.296	91,420	21,597	50.235	1,920
Solid Fuels	Btu/ton [2]	Btu/lb [5]	MJ/kg [4]	Btu/ton [2]	Btu/lb [5]	MJ/kg [4]	
Coal (wet basis) [6]	19,546,300	9,773	22.732	20,608,570	10,304	23.968	
Bituminous coal (wet basis) [7]	22,460,600	11,230	26.122	23,445,900	11,723	27.267	
Coking coal (wet basis)	24,600,497	12,300	28.610	25,679,670	12,840	29.865	
Farmed trees (dry basis)	16,811,000	8,406	19.551	17,703,170	8,852	20.589	
Herbaceous biomass (dry basis)	14,797,555	7,399	17.209	15,582,870	7,791	18.123	
Corn stover (dry basis)	14,075,990	7,038	16.370	14,974,460	7,487	17.415	
Forest residue (dry basis)	13,243,490	6,622	15.402	14,164,160	7,082	16.473	
Sugar cane bagasse	12,947,318	6,474	15.058	14,062,678	7,031	16.355	
Petroleum coke	25,370,000	12,685	29.505	26,920,000	13,460	31.308	

TABEL 3. TABEL UAP KENYANG

P : Tekanan didalam Kg/cm² r = pangs penguapan didalam KJ/kg
 t_d : temperatur air mendidih dim °C i = entalpi uap kenyang dalam KJ/kg
 V_u : Volume jenis uap dalam M³/Kg V_w = volume jenis air dalam dm³/kg
 W_d : entalpi air mendidih dalam KJ/kg

P	t_d	V_u	W_d	i	i	V_w
0.01	7.0	129.2	29	2484	2513	-
0.02	17.5	67.0	73	2459	2533	-
0.03	24.1	45.7	101	2444	2545	-
0.04	29.0	34.8	121	2433	2554	-
0.05	32.9	28.2	138	2423	2561	-
0.07	39.0	20.5	163	2409	2572	-
0.1	45.8	14.7	192	2392	2584	-
0.2	60.1	7.7	251	2358	2609	-
0.3	69.1	5.2	289	2335	2624	-
0.4	75.9	4.0	317	2318	2635	-
0.5	81.4	3.2	340	2305	2645	-
0.7	90.0	2.4	377	2282	2659	-
1	99.6	1.69	417	2257	2674	1.044
2	120.2	0.89	505	2200	2705	1.061
3	133.5	0.61	561	2162	2723	1.074
4	143.6	0.46	604	2132	2734	1.084
5	151.8	0.37	640	2107	2747	1.093
7	165.0	0.27	697	2065	2762	1.108
10	179.9	0.19	762	2.15	2777	1,128
15	198.3	0.13	844	19	2792	1.154
20	212.4	0.099	908	1893	2801	1.177
25	223.9	0.080	961	1843	2804	1.197
30	233.8	0.067	1008	1798	2806	1.211
35	242.5	0.057	1049	1756	2805	1.235
40	250.3	0.050	1,087	1715	2802	1.252
50	264.0	0.039	1.154	1641	2795	1.286
60	275.6	0.032	1213	1571	2784	1.3 19

P	w	v _u	v _g	v _l	I	V _w
70	285.8	0.027	1267	1500	2771	1.351
80	295.0	0.023	1316	1440	2756	1.384
90	303.3	0.020	1363	1349	2742	1.417
100	311.0	0.018	1407	1318	2763	1.451
110	318.0	0.016	1449	1260	1709	1.487
120	324.6	0.0143	1490	1197	2687	1.525
130	330.8	0.0128	1530	1134	2664	1.566
140	336.6	0.0115	1570	1134	2664	1.566
150	342.1	0.0103	1609	1000	2609	1.658
160	347.3	0.0093	1649	932	2581	1.713
170	352.3	0.0084	1490	1197	2687	1.525
180	357.0	0.0075	1733	778	2511	1.85
190	361.4	0.0067	1777	691	2468	1.94
200	365.7	0.0059	1827	590	2417	2.06
210	369.8	0.0050	1890	455	2345	2.24
220	373.7	0.0039	2010	20	2218	2.60
221.3	374.2	0.0032	2099	0	2099	3.20

Interpolasi

Untuk mencari entalpi air masuk pada suhu 25°C

Untuk suhu 24,1°C => Wd = 101

Untuk suhu 29°C => Wd = 121

$$\text{Maka } Wd^{25} = Wd^{24,1} + \frac{25-24,1}{29-24,1} (Wd^{29} - Wd^{24,1})$$

$$= 101 + 0,184 (121-101)$$

$$= 104,67 \text{ KJ/kg}$$

Untuk mencari entalpi uap pada tekanan 8 kg/cm²

Untuk tekanan 7 kg/cm² => I = 2065

Untuk tekanan 10 kg/cm² => I = 2015

$$\text{Maka } I^8 = I^7 + \frac{8-7}{10-7} (I^{10} - I^7)$$

$$= 2065 + (-1/3) (2015 - 2065)$$

$$= 2048,33 \text{ KJ/kg}$$

Untuk mencari suhu pada tekanan 8 kg/cm²

Untuk tekanan 7 kg/cm² => td = 165

Untuk tekanan 10 kg/cm²=> td = 179,9

$$\begin{aligned} \text{Maka } td^8 &= td^7 + \frac{8-7}{10-7} (td^{10} - td^7) \\ &= 165 + (1/3) (179,9 - 165) \\ &= 169,96^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tabel 4. Persamaan *Hazen William*

Tabel nilai C untuk inlet diameter pipa min & max

No	Material pipa	Inlet dia. mm	Nilai C
1	Stainless steel	26.6	130
		303.3	142
2	Galvanized pipe	27.3	116
		155.3	129
3	Steel pipe sch 40	26.6	130
		303.3	142
4	Copper	23.0	141
		223.3	146
5	Ductile cast iron uncoated K12	81.5	118
		326.2	126
6	Polyethilene class 6	21.7	140
		278.0	140
7	PVC class 15	29.0	142
		138.7	151

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Firmansyah, Lahir di Wajo, 3 Desember 1993. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 164 Tosora pada tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Majauleng pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2009, lalu melanjutkan Pendidikannya di SMAN 1 Malangke pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2012. Penulis melanjutkan pendidikan ke Universitas Negeri Jakarta dengan program studi Pendidikan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.

Penulis melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Indonesia Power UBP Priok pada tanggal 21 Januari-24 Februari 2015 dan melaksanakan Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) di SMK Karya Guna Jakarta Timur dari bulan September-November 2015.