

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

**ANALISA EFISIENSI BAHAN BAKAR PADA BOILER
PIPA API KAPASITAS UAP 1 TON/JAM
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN GAS
DI INDUSTRI**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh :

NAMA : AKBAR KELANA

NPM : 1307230229



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

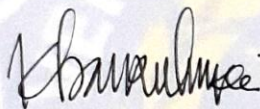
LEMBAR PENGESAHAN- I
TUGAS SARJANA
KONVERSI ENERGI
ANALISA EFISIENSI BAHAN BAKAR PADA BOILER
PIPA API KAPASITAS UAP 1 TON/JAM
MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN GAS
DI INDUSTRI

Disusun Oleh :

AKBAR KELANA
1307230229

Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing – I



(Khairul Umurani, S.T., M.T)

Pembimbing – II



(H. Muharnif M, S.T.,M.Sc)

Diketahui Oleh :

Ka.Program Studi Teknik Mesin



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018

LEMBAR PENGESAHAN - II
TUGAS SARJANA
KONVERSI ENERGI
ANALISA EFISIENSI BAHAN BAKAR PADA BOILER
PIPA API KAPASITAS UAP 1 TON/JAM
MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN GAS
DI INDUSTRI

Disusun Oleh :

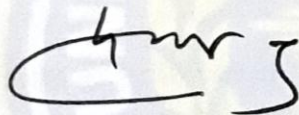
AKBAR KELANA

1307230229

Telah diperiksa dan diperbaiki
Pada seminar tanggal 20 Januari 2018

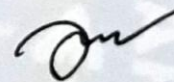
Disetujui Oleh :

Pemanding – I



(Munawar A. Siregar, S.T.,M.T)

Pemanding – II



(Bektı Suroso, S.T.,M.Eng)

Diketahui Oleh :

Ka.Program Studi Teknik Mesin



(Affandi, S.T)

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

DAFTAR SPESIFIKASI
TUGAS SARJANA

Nama Mahasiswa : AKBAR KELANA

NPM : 1307230229

Semester : X

SPESIFIKASI :

**ANALISA EFISIENSI BAHAN BAKAR PADA BOILER PIPA API KAPASITAS UAP
1 TON/JAM MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN GAS DI INDUSTRI**

Diberikan Tanggal : 10 Januari 2017

Selesai Tanggal : 28 Desember 2017

Tempat Asistensi : Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 09 Maret 2018.

Diketahui oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin

Dosen Pembimbing – I



(Khairul Umurani, S.T., M.T)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Saari No.3 Telp. (061) 6611233 - 6624567 -
6622400 - 6610450 - 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

Dasar merupakan surat ini agar diterbitkan
sebelum dan terdapatnya

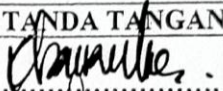
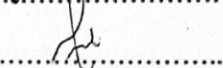
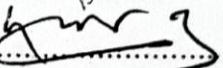
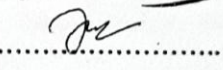
DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

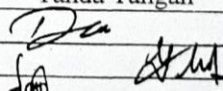
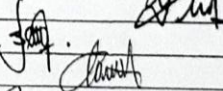
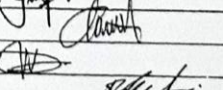
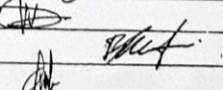
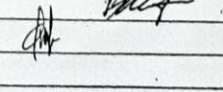
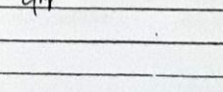
NAMA : AKBAR KELANA
NPM : 1307230229
PEMBIMBING - I : KHAIRUL UMURANI,S.T,M.T
PEMBIMBING - II : H. MUHARNIF ,S.T,M.Sc

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1	10 Januari 2017	Pembina spesifikasi tugas	ke
2	24 Januari 2017	Perbincangan faktor belahan	ke
3	1 Februari 2017	Perbincangan Argonon pustaka	ke
4	22 Februari 2017	Perbincangan Aliran	ke
5	1 Maret 2017	Uraian ke pembuat 1	ke
6	11 Oktober 2017	Perbincangan Bab 3	ke
7	8 November 2017	Perbincangan Diagram Alir	ke
8	15 November 2017	Perbincangan Bab 4	ke
9	20 Desember 2017	Perbincangan Kesimpulan	ke
10	23 Desember 2017	Langkah Daftar Pustaka Aa, Januari	ke

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2017 – 2018**

Peserta Seminar
 Nama : Akbar Kelana
 NPM : 1307230229
 Judul Tugas Akhir : Analisa Efisiensi Bahan Bakar Pada Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per jam Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di P.T.Union Confectionery Medan.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 
Pemanding – I	: Munawar A Siregar.S.T.M.T	: 
Pemanding – II	: Bekti Suroso.S.T.M.Eng	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1307230229 1307230226	Dwisephan IWAN RIZKA RIYANTO	
2	1307230236	DEDDY SETIAWAN	
3	1307230035	Ahmat Panggabean	
4	1307230286	Dedi Suryadi	
5	1307230320	BILLI ARDITA	
6	1307230290	Muhammad Yudi	
7			
8			
9			
10			

Medan, 02 Djm.Awal 1439 H
20 Januari 2018 M

Ketua Prodi. T. Mesin

 Affandi.S.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Akbar Kelana
NPM : 1307230229
Judul T.Akhir : Analisa Efisiensi Bahan bakar Pada Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di P.T.Union Confectionery Medan.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - I : Munawar A Siregara.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*- data harus lengkap dari perusahaan jika
dan judul ditandatangani nama perusahaan -
- cara tabel, rumus, masalah
diteliti dan pembimbing*

3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :
-
-
-
-

Medan 02 Djum.Awal 1439H
20 Januari 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- I


Munawar A Siregara.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Akbar Kelana
NPM : 1307230229
Judul T.Akhir : Analisa Efisiensi Bahan bakar Pada Boiler Pipa Api Kapasitas
Uap 1 Ton Per Jam menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas
Di P.T.Union Confectionery Medan.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - I : Munawar A Siregara.S.T.M.T
Dosen Pemanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

Perbaikan pada penulisan Abstrak, Daftar isi, dan Check pada penambahan Alat yang digunakan serta materi Tugas gambar serta
Penambahan sumber rujukan daftar pustaka.

3. Harus mengikuti seminar kembali *baik dari jurnal maupun skripsi*
Perbaikan :

.....
.....
.....

Medan 02 Djum.Awal 1439H
20 Januari 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pemanding- II

Bekti Suroso.S.T.M.Eng

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Akbar Kelana
Tempat/Tgl Lahir : Medan, 09 September 1995
NPM : 1307230229
Bidang Keahlian : Konversi Energi
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(UMSU)

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas sarjana (skripsi) saya ini yang berjudul :

ANALISA EFISIENSI BAHAN BAKAR PADA BOILER PIPA API KAPASITAS UAP 1 TON/JAM MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN GAS DI INDUSTRI.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 09 Maret 2018
Saya yang menyatakan,


Akbar Kelana

ABSTRAK

Peranan mesin boiler di Industri dalam proses produksi sangat penting. Untuk mengetahui efisiensi boiler digunakan metode langsung yaitu energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler. Untuk meningkatkan efisiensi kerja mesin boiler tersebut ada beberapa faktor salah satunya dalam penggunaan bahan bakar. Bahan bakar yang dibahas adalah bahan bakar solar dan bahan bakar gas. Pada penggunaan bahan bakar solar nilai efisiensi mesin boiler berkisar 73,14% sampai dengan 74,32% dengan pemakaian bahan bakar berkisar 57,82 kg bahan bakar/jam sampai 58,12 kg bahan bakar/jam, sedangkan efisiensi boiler dengan penggunaan bahan bakar gas berkisar 82,06% sampai dengan 82,27% dengan pemakaian bahan bakar berkisar 61,85 kg bahan bakar/jam sampai 62,16 kg bahan bakar/jam. Sehingga dapat dikatakan perubahan penggunaan dari bahan bakar solar ke bahan bakar gas dapat meningkatkan nilai efisiensi kerja mesin boiler sebesar 8,82%.

Kata kunci : Boiler, Efisiensi, dan Bahan Bakar.

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT , karena berkat rahmat dan hidayah nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi S-1 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul dari Tugas Sarjana yang di ambil oleh penulis adalah **“Analisa Efisiensi Bahan Bakar Pada Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton/Jam Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri”**.

Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang di sebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus menerus hadir dan atas kerja keras penulis, dan atas banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing , serta bantuan moril maupun material dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas Sarjana ini.

Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda Syarifuddin , Ibunda Sri Winarsih, dimana cinta yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik serta selalu memberikan suport dan doa yang tulus , ikhlas, dengan penuh kasih sayang, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembanding I yang sangat sabar dan teliti dalam memberikan ilmu bermanfaat sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T.,M.Sc, selaku wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T, selaku wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan serta perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
5. Bapak H. Muharnif Mukhtar, S.T.,M.Sc, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberi bimbingan dan arahan serta perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
6. Bapak Bekti Suroso, S.T.,M.Eng, selaku Dosen Pembanding II yang telah sabar dan teliti memberi arahan dan perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
7. Bapak Affandi, S.T, Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama di bangku kuliah.
10. Terima kasih juga teman teman seperjuangan stambuk 2013 Arie Indra Wirantara, Abdie Saputra, Bambang Katresnan, Jefri Suarno, Nanda Setiawan, Ajhari Agustian Munthe, Andri Franata, Deddy Setiawan, Dwi Septian, Joko Siswanto yang telah banyak memberi masukan yang sangat membangun kepada penulis.
11. Terima kasih juga kepada Adinda Atika Sri Retna, Syazwani Khairina S.E, Murni Makiyah S.Kom, yang telah banyak meluangkan waktu dan fikiran untuk membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Sarjana ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulis Tugas Sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapakan semoga Tugas Sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin Ya Rabbal Alamin.
Wassaamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 09 Maret 2018

Penulis



AKBAR KELANA
1307230229

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.4.1. Tujuan Umum	2
1.4.2. Tujuan Khusus	2
1.5. Manfaat	3
1.6. Metode Analisa	3
1.7. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Boiler	5
2.1.1. Boiler Pipa Api	5
2.1.2. Boiler Pipa Air	7
2.2. Komponen – Komponen Mesin Boiler	9
2.3. Perpindahan Panas	12
2.3.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi	12
2.3.2. Perpindahan Panas Secara Konveksi	12
2.3.3. Perpindahan Panas Secara Radiasi	13
2.4. Bahan Bakar	13
2.4.1. Bahan Bakar Gas	14
2.4.2. Bahan Bakar Cair (Solar)	15
2.5. Proses Pembakaran	16
2.5.1. Prinsip Pembakaran	16
2.5.2. Pembakaran Tiga T	18
2.5.3. Neraca Kalor	19
2.5.4. Proses Pembakaran Bahan Bakar Gas	20
2.5.5. Pembakaran Bahan Bakar Cair (Solar)	21
2.6. Efisiensi Boiler	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1. Waktu dan Tempat	25
3.1.1. Waktu	25
3.1.2. Tempat	25

3.2.	Diagram Alir Analisa	27
3.3.	Langkah Langkah Analisa	28
3.4.	Alat – alat	30
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1.	Pengolahan Data	33
4.1.1.	Banyaknya Kalor Yang Di Butuhkan Untuk Memanaskan Boiler	33
4.1.2.	Jumlah Pemakaian Bahan Bakar (Be)	33
4.1.3.	Perbandingan Jumlah Uap Yang Di Hasilkan Terhadap Pemakaian Bahan Bakar (E)	34
4.1.4.	Perhitungan Kalor Yang Di Hasilkan Boiler	34
4.1.5.	Perhitungan Kalor Yang Di Hasilkan Bahan Bakar	35
4.1.6.	Efisiensi Boiler	36
4.2.	Perbandingan Data Dengan Tekanan, $P_1=0,60$ MPa Dan $P_2= P_{out} = 0,60$ MPa	38
4.2.1.	Banyaknya Kalor Yang Di Butuhkan Untuk Memanaskan Boiler	38
4.2.2.	Jumlah Pemakaian Bahan Bakar (Be)	39
4.2.3.	Perbandingan Jumlah Uap Yang Di Hasilkan Terhadap Pemakaian Bahan Bakar (E)	39
4.2.4.	Perhitungan Kalor Yang Di Hasilkan Boiler	40
4.2.5.	Perhitungan Kalor Yang Di Hasilkan Bahan Bakar	40
4.2.6.	Efisiensi Boiler	42
4.3.	Perbandingan Data Dengan Tekanan, $P_1=0,80$ MPa Dan $P_2 = 0,80$ MPa	43
4.3.1.	Banyaknya Kalor Yang Di Butuhkan Untuk Memanaskan Boiler	43
4.3.2.	Jumlah Pemakaian Bahan Bakar (Be)	44
4.3.3.	Perbandingan Jumlah Uap Yang Di Hasilkan Terhadap Pemakaian Bahan Bakar (E)	44
4.3.4.	Perhitungan Kalor Yang Di Hasilkan Boiler	45
4.3.5.	Perhitungan Kalor Yang Di Hasilkan Bahan Bakar	45
4.3.6.	Efisiensi Boiler	47
4.4.	Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Boiler	48
4.5.	Analisa Data	49
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1.	Kesimpulan	51
5.2.	Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

CURRICULUM VITAE

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 3.1.	Jadwal Kegiatan	25
Tabel 3.2.	Kondisi Operasi Ketel Uap (Boiler) Pada Industri	28
Tabel 4.1.	Hasil Perhitungan Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri	37
Tabel 4.2.	Hasil Perhitungan Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri Dengan Membedakan $P_1 = 0,60$ MPa Dan $P_2 = 0,60$ MPa	42
Tabel 4.3.	Hasil Perhitungan Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri Dengan Membedakan $P_1 = 0,80$ MPa Dan $P_2 = 0,80$ MPa	47

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1.	Boiler	5
Gambar 2.2.	Pipa Api	6
Gambar 2.3.	Pipa Air	8
Gambar 2.4.	Neraca Kalor	19
Gambar 3.1.	Diagram Alir Analisa	27
Gambar 3.2.	Boiler Pipa Api	30
Gambar 3.3.	Hydrometer	31
Gambar 3.4.	Effusiometer	31
Gambar 3.5.	Thermometer	31
Gambar 3.6.	Thermometer	32
Gambar 4.1.	Grafik Jumlah Pemakaian Bahan Bakar (Be) Terhadap Efisiensi Kerja (n%)	48

DAFTAR NOTASI

Symbol	Keterangan	Satuan
B_e	Jumlah pemakaian bahan bakar	kg/bahan bakar perjam
C_p	Kapasitas panas pada tekanan konstan	J/kg.K
E	Perbandingan jumlah uap yang di hasilkan terhadap bahan bakar	kg uap/bahan bakar
$h_{in}=h_1$	Entalpi air	kJ/kg
$h_{out}=h_2$	Entalpi uap	kJ/kg
M	Massa alir (air,bahan bakar)	kg/detik
$Q=Q_{in}$	Panas yang di butuhkan untuk memanaskan boiler	MW
$Q_{bahan\ bakar}$	Panas yang di hasilkan bahan bakar	kW
Q_{boiler}	Panas yang di hasilkan boiler	kW
Q	Debit alir (air,bahan bakar)	m ³ /jam
S	Produksi uap	kg uap/jam
S	Entropi	kJ/kg.k
T_1	Temperature air masuk	K
T_2	Temperature uap keluar	K

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi uap di Industri sangat di perlukan untuk dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas proses dari produk yang di hasilkan. Dalam hal ini, kebutuhan uap tersebut dapat di gunakan dalam berbagai hal seperti, pembangkit listrik tenaga uap, pemanas untuk suatu kebutuhan bahan baku produk. Energi uap biasanya di peroleh dan di proses oleh sebuah alat yang di sebut boiler, dimana media yang di jadikan sebagai sumber uap tersebut adalah air yang di panaskan hingga temperatur titik jenuh. Hal ini dapat di lakukan dengan proses pemanasan air (perebusan) dengan sumber panas menggunakan bahan bakar. Boiler dapat di klasifikasikan terdiri dari boiler pipa api dan boiler pipa air. Untuk pemakaian uap kapasitas rendah, Industri lebih memilih boiler pipa api, karena di tinjau dari segi keuntungan dari proses pada Industri dan kemampuan terhadap biaya untuk memproduksi uap.

Pada proses produksi uap sangat di pengaruhi efisiensi dan jumlah pemakaian bahan bakar, hal tersebut merupakan pertimbangan yang harus di perhitungkan sesuai dengan kapasitas Industri. Pada umum nya boiler pipa api menggunakan bahan bakar solar dan gas, oleh sebab itu kebutuhan pemakaian bahan bakar solar maupun gas perlu di analisa untuk mengetahui jenis bahan bakar yang bisa meningkatkan efisiensi boiler. Peningkatan efisiensi boiler dapat memberikan nilai ekonomis untuk Industri, dan juga meningkatkan jumlah produksi. Pemakaian jumlah bahan bakar yang jelas dan stabil juga merupakan

salah satu faktor penting, menjadi pertimbangan dan perhitungan berkaitan dengan pengeluaran dan persediaan bahan bakar boiler pipa api.

Oleh sebab itu penulis merasa perlu melakukan analisa terhadap efisiensi bahan bakar dan juga pemakaian bahan bakar solar dan gas boiler pipa api tersebut. Berdasarkan uraian yang telah di sebutkan penulis mengambil judul analisa **“Analisa Efisiensi Bahan Bakar Pada Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton/Jam Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri”**.

1.2 Rumusan Masalah

Pada analisa ini, akan di bahas sebatas perbandingan efisiensi dari bahan bakar solar dan gas pada boiler pipa api.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan analisa ini di khusus kan pada jumlah pemakaian bahan bakar dan efisiensi pada boiler pipa api.

1.4 Tujuan

1.4.1 Tujuan Umum

Menentukan berapa persen perbandingan efisiensi bahan bakar boiler jika menggunakan bahan bakar solar dan gas, dan berapa jumlah pemakaian bahan bakar boiler/jam jika menggunakan bahan bakar solar dan bahan bakar gas.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Menentukan jumlah pemakaian bahan bakar boiler/jam
2. Menentukan jumlah uap terhadap pemakaian bahan bakar
3. Menentukan kalor yang di hasilkan boiler
4. Menentukan kalor yang di hasilkan bahan bakar
5. Menentukan efisiensi boiler

1.5 Manfaat

Mengetahui bahan bakar yang lebih baik di gunakan untuk boiler pipa api di Indusri, dalam segi efisiensi, penghematan biaya, dan perawatan jangka panjang boiler.

1.6 Metode Analisa

Dalam penyusunan tugas sarjana ini penulis mempergunakan beberapa metode, antara lain :

1. Melakukan studi lapangan dan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan Tugas Sarjana yang disusun.
2. Melakukan wawancara dengan pihak-pihak yang dapat membantu dalam kelancaran penyusunan Tugas Sarjana ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan mencakup keseluruhan isi penulisan yang diuraikan oleh masing-masing bab. Sistematika penulisan yang dibuat adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang permasalahan, batasan masalah, tujuan, manfaat, metode analisa, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan diterangkan mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan pembahasan Boiler, sistem kerja Boiler dan teori-teori yang berkaitan dengan perhitungan efisiensi boiler.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan tentang waktu dan tempat, pelaksanaan dan metode analisa.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini penulis akan mengolah data-data yang diperoleh dan membandingkannya serta menganalisa hasil perhitungan yang telah didapat sehingga didapat hasil analisa dan solusi mengenai permasalahan yang dihadapi.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan-kesimpulan dan saran-saran yang didapat dari hasil pembahasan dan pengamatan penulis.

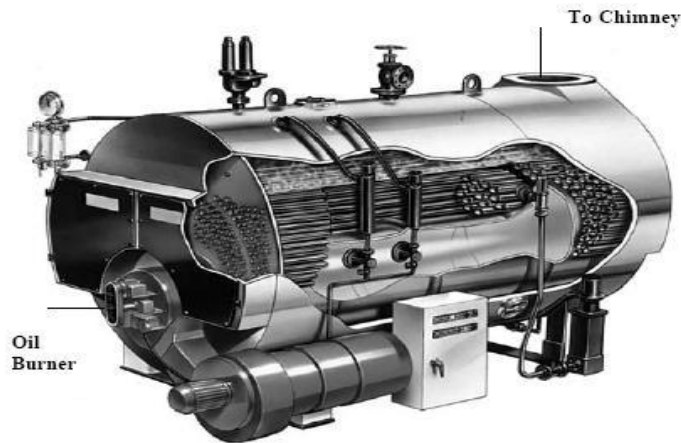
DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Boiler

Boiler dapat didefinisikan sebagai sebuah alat yang digunakan untuk mentransfer kalor atau panas yang diproduksi dari pembakaran fluida. Boiler digunakan untuk menghasilkan air panas, uap jenuh (uap pada temperatur jenuh), atau uap panas lanjut (uap yang dipanaskan diatas temperatur jenuh), suatu jenis boiler di tunjukkan pada gambar 2.1.



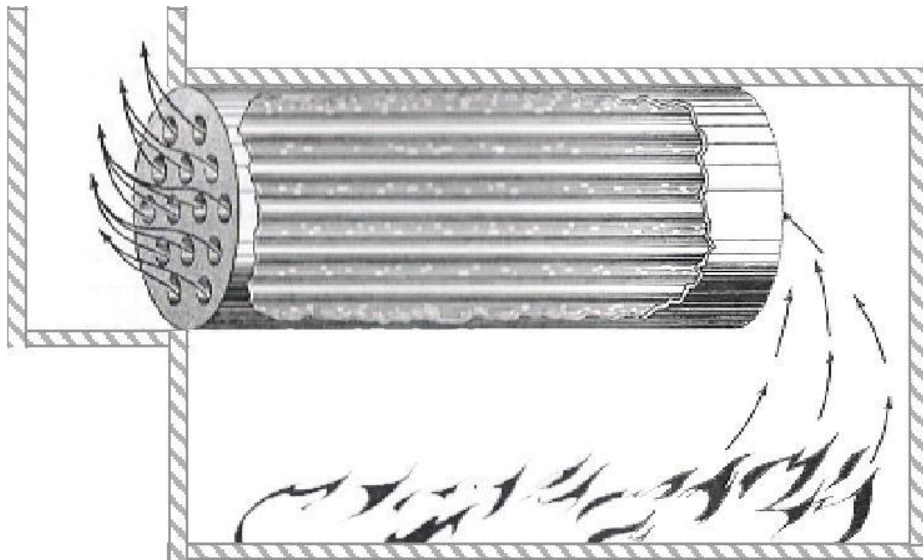
Gambar 2.1.Boiler

2.1.1. Boiler Pipa Api

Boiler pipa api menjadi tipe boiler yang paling sederhana. Boiler ini memungkinkan untuk diaplikasikan pada kebutuhan uap air rendah hingga menengah. Hal tersebut dimungkinkan karena desainnya yang tidak lebih rumit dari boiler pipa air. Ukuran boiler pipa api juga relatif lebih kecil, dan memungkinkan untuk dipindah tempatkan dengan sangat mudah.

Sesuai dengan namanya, boiler pipa api mengalirkan gas panas hasil pembakaran ke saluran pipa-pipa yang diselubungi oleh air. Berbagai desain

saluran pipa berbeda dibuat untuk memaksimalkan penyerapan panas dari gas buang hasil pembakaran tersebut. Level air di dalam tangki boiler, wajib terjaga ketinggiannya untuk menghindari *overheat*. Di sisi lain, boiler ini juga dilengkapi dengan *safety relief valve* yang berfungsi untuk melepas tekanan berlebih sehingga terhindar dari ledakan. Banyak tipe boiler pipa-api juga sudah dilengkapi dengan sistem pemanas uap lanjut untuk menghasilkan uap superheated. Namun demikian, boiler pipa-api memiliki keterbatasan produksi uap air yang hanya maksimal 2500 kg/jam dengan tekanan maksimal 10 bar saja. Jenis pipa api di tunjukkan pada gambar 2.2. berikut.



Gambar 2.2. Pipa Api

Keuntungan dan kerugian boiler pipa api :

Keuntungan :

1. Tidak membutuhkan setting khusus, sehingga proses pemasangannya mudah dan cepat.
2. Investasi awal untuk boiler pipa api ini murah.
3. Bentuknya lebih compact dan portable.

4. Untuk 1 HP boiler tidak memerlukan area yang besar.

Kerugian :

1. Tekanan operasi steam terbatas untuk tekanan rendah 18 bar.
2. Jika dibandingkan dengan boiler pipa api, kapasitas steamnya relative kecil
3. Tempat pembakarannya sulit dijangkau sehingga susah untuk dibersihkan, diperbaiki, dan diperiksa kondisinya.
4. Banyak energi kalor yang terbuang langsung menuju stack sehingga nilai effisiensinya rendah.

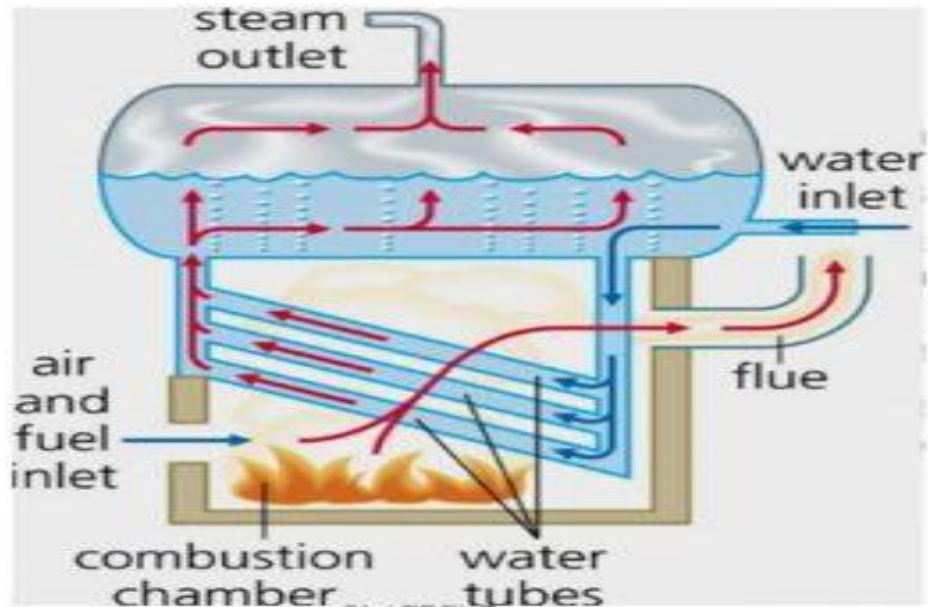
2.1.2. Boiler Pipa Air

Pada boiler pipa air, air berada di dalam pipa sedangkan gas panas berada diluar pipa. Boiler pipa air ini dapat beroperasi pada tekanan yang sangat tinggi yaitu hingga lebih dari 100 Bar. Boiler pipa air memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang tinggi. Berdasarkan jenis ketelnya, konstruksi yang dipasang dalam ketel dapat lurus dan melengkung. Secara parallel dipasang pipa-pipa yang lurus di dalam ketel dihubungkan dengan 2 buah header. Secara horizontal diatas susunan pipa dipasang header yang dihubungkan dengan drum uap. Susunan kedua header memiliki kecondongan tertentu yang bertujuan dapat mengatur sirkulasi uap dalam ketel.

Cara kerja boiler pipa air adalah diluar pipa terjadi proses pengapian, kemudian dihasilkan panas yang digunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air. Melalui economizer air tersebut terlebih dahulu dikondisikan, kemudian dihasilkan steam yang terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah steam-drum.

Melalui tahap secondary superheater dan primary superheater setelah tekanan dan temperature sesuai baru steam dilepaskan ke pipa utama distribusi.

Di dalam pipa air, harus ada pengkondisian air yang mengalir terhadap mineral atau kandungan lain yang terlarut dalam air. Jenis boiler pipa air di tunjukkan pada gambar 2.3. berikut.



Gambar 2.3. Pipa Air

Keuntungan boiler pipa air :

1. Kapasitas steam besar hingga 450 TPH.
2. Tekanan operasi mencapai 100 Bar.
3. Dibanding dengan boiler pipa api, boiler pipa air memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi.
4. Untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan tungku mudah dijangkau.

Kerugian boiler pipa air :

1. Proses konstruksinya lebih detail.
2. Investasi awal relative lebih mahal.
3. Penanganan air yang masuk ke dalam boiler dalam sistem ini lebih sensitif

sehingga perlu dijaga dan memerlukan komponen pendukung untuk hal ini.

4. Konstruksinya membutuhkan area yang luas karena mampu menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang lebih besar.

2.2 Komponen-Komponen Boiler

1. Dapur (Furnance)

Yaitu tempat dimana bahan bakar dibakar dan terbentuk gas asap. Dinding tungku pada dasarnya adalah lapisan tebal asbes tahan api yang diapit pada bagian luar plat tebal sebagai casing luar boiler dan sebagai pengisolasi dari udara luar. Pada bagian paling depan yang menghadap ke api terdapat susunan pipa-pipa penguap yang disebut dinding air (water tube wall) yang akan menerima panas dari gas asap secara radiasi pada level bawah. Ruang furnace dibatasi oleh :

- a. Lorong api
- b. Pipa api

2. Pipa-Pipa Penguap (*Riser*)

Yang mengubah energi pembakaran menjadi energi potensial uap.

3 Economizer

Yaitu pipa-pipa pemanas air yang terletak dibagian belakang laluan gas asap yang akan dimanfaatkan untuk memanaskan terlebih dahulu air umpan boiler sebelum dimasukkan ke drum sehingga menaikkan efisiensi dan mengurangi perbedaan suhu yang besar pada dinding drum. Keuntungan menggunakan *economizer* adalah :

- a. Menghemat bahan bakar 15-20 %.
- b. Memperpendek waktu operasi air menjadi uap.

c. Dengan kondisi air pengisian yang telah panas pada boiler dapat mengurangi konsentrasi udara (O_2) dalam boiler karena oksigen adalah gas yang paling cepat merusak boiler, sehingga penggunaan *economizer* pada boiler dapat mengurangi kerusakan dan mengurangi terbentuknya kerak dalam boiler maupun saluran uap.

4. Burner

Yaitu peralatan yang menyemprotkan bahan bakar dan udara masuk kedalam sehingga terbakar dalam tungku.

5. Cerobong (*stack*)

Stack berfungsi sebagai saluran untuk membuang gas asap sisa pembakaran (*fuel gas*) keluar dari boiler. Selain itu dibuat tinggi, *stack* pada ketinggian tertentu agar memperoleh tarikan cerobong asap (*stack draft*) yang cukup serta mencegah terbentuknya asam sulfat dari reaksi sulfur yang terdapat pada gas sisa pembakaran dengan H_2O yang terdapat pada udara luar. Terbentuknya asam sulfat harus dicegah karena bersifat sangat korosif.

6. Gelas Penduga (*Level Glass*)

Gelas penduga ini sangat penting fungsinya untuk mengetahui tinggi permukaan air di dalam boiler. Gelas penduga terdiri atas 2 buah pipa kaca yang dilengkapi indikator level yang jelas dan mudah terbaca.

7. Sirkulasi Air (*Blow Down*)

Sirkulasi air pada boiler diharapkan dapat mengurangi konsentrasi zat-zat kimia, kotoran lumpur dan mencegah terjadinya busa karena terikatnya padatan kimia ke dalam steam. Ada 2 jenis sirkulasi (*blow down*) pada boiler ini yaitu blow down belakang dan blow down samping.

8. Level Control Air (*Water Flow Meter*)

Terdapat 1 buah level control air yang berfungsi untuk start dan stop pengisian air ke boiler yang dijalankan oleh pompa.

9. Manometer (*Pressure Gauge*)

Berfungsi untuk mengetahui berapa tekanan uap pada boiler.

10. Pressure Switch

Ada 2 set *pressure switch* yang berfungsi untuk mengontrol secara otomatis tekanan boiler, sehingga tekanan uap boiler yang diinginkan dapat disesuaikan.

11. Katup Pengaman (*Safety Valve*)

Safety Valve berfungsi untuk membuang uap atau steam. Bekerjanya secara mekanik apabila tekanan uap boiler tersebut melebihi tekanan maksimal.

12. Lubang Lalu Orang (*Man Hole*)

Berfungsi sebagai jalan masuk orang ke dalam boiler agar dapat membersihkan atau mengecek ruang air dan lorong api.

13. Pompa

1 buah pompa untuk memompakan air dari tangki utama ke *Softener Tank*. 2 buah pompa lain memompakan air dari *feed water tank* ke boiler serta 1 buah pompa untuk memompakan bahan bakar ke boiler, tetapi yang dipakai hanya satu unit.

14. Steam Drum

Steam Drum dapat disebut juga *main drum* atau drum utama yang letaknya pada bagian puncak boiler, berisi sebagian air jenuh dan sebagian uap

jenuh, air jenuh ini diperoleh dari *economiser* serta uapnya diperoleh dari pipa-pipa *riser*.

2.3. Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau alih bahan (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua material atau fluida yang berbeda. Karena sifat dasar panas adalah energi panas akan berpindah tempat yang mempunyai temperatur tinggi menuju ke temperatur yang rendah. Kuantitas atau jumlah perpindahan panasnya berbanding lurus dengan perbedaan temperatur.

Ada tiga macam perpindahan panas yang mendasar yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi atau pancaran.

2.3.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi

Secara konduksi (merambat) adalah cara perpindahan panas dari benda yang memiliki temperatur tinggi menuju temperatur yang rendah, tanpa tergantung dari gerakan benda tersebut. Pada umumnya terjadi pada benda padat.

2.3.2. Perpindahan Panas Secara Konveksi

Secara konveksi (mengalir) adalah cara perpindahan panas, dimana panas ikut berpindah bersama dengan fluida (udara, air) yang membawanya. Panas akan mengalir secara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan, panas yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu partikel-partikel fluida ini, kemudian partikel fluida tersebut akan bergerak ke suhu yang lebih rendah dimana fluida akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.

Perpindahan panas secara konveksi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Konveksi alami, panas mengalir secara alami, misalnya karena perbedaan kepadatan (densitas). Bejana yang berisi (fluida), apabila bagian bawahnya dipanaskan maka fluida yang berkurang kepadatannya bergerak naik dan fluida yang lebih tinggi kepadatannya akan bergerak turun.
- b. Konveksi paksa, panas mengalir karena paksaan, seperti pompa, blower, radiator dll.

2.3.3. Perpindahan Panas Secara Radiasi

Secara radiasi (memancar) ialah perpindahan panas tanpa perantara, dimana panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah bila benda tersebut terpisah didalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut, maka panas yang dimiliki berubah menjadi gelombang elektromagnetik.

2.4. Bahan Bakar

Bahan bakar (*fuel*) adalah bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Bahan bakar dibakar dengan tujuan untuk memperoleh kalor tersebut, untuk digunakan baik secara langsung maupun tak langsung. Sebagai contoh penggunaan kalor dari proses pembakaran secara langsung adalah:

- untuk memasak di dapur-dapur rumah tangga
- untuk instalasi pemanas

sedangkan contoh penggunaan kalor secara tidak langsung adalah:

- kalor diubah menjadi energi mekanik, misalnya pada motor bakar,

- kalor diubah menjadi energi listrik, misalnya pada pembangkit listrik tenaga diesel, tenaga gas dan tenaga uap.

Bahan bakar yang digunakan di dalam boiler pada umumnya diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bahan bakar padat
2. Bahan bakar cair
3. Bahan bakar gas

Untuk melakukan pembakaran diperlukan tiga unsur, yaitu :

1. bahan bakar
2. oksigen dari udara pembakaran
3. suhu untuk memulai pembakaran

Dikarenakan boiler yang penulis bahas adalah menggunakan bahan bakar solar dan gas maka sistem pembakaran yang dipergunakan adalah sistem pembakaran bahan bakar gas dan sistem pembakaran bahan bakar cair (solar).

2.4.1 Bahan Bakar Gas

Didalam tanah banyak terkandung : gas bumi (*petrol gas*) atau sering pula disebut gas alam yang timbul pada saat proses pembentukan minyak bumi, gas tambang, dan gas rawa (CH_4 atau metana). Seperti halnya minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah, baik di daratan maupun di lepas pantai terhadap lokasi-lokasi yang diduga terdapat kandungan gas alam. Gas alam tersusun dari parafin hidrokarbon, khususnya gas metana bercampur dengan nitrogen, N_2 , dan karbon dioksida, CO_2 , diperoleh dari tambang dengan pengeboran tanah melalui batuan kapur atau batuan pasir. Kandungan metananya di atas 90%. Sulfur dalam jumlah yang sangat sedikit juga

ada. Karena metan merupakan komponen terbesar dari gas alam, biasanya sifat metan digunakan untuk membandingkan sifat-sifat gas alam terhadap bahan bakar lainnya. Gas alam merupakan bahan bakar dengan nilai kalor tinggi yang tidak memerlukan fasilitas penyimpanan. Gas ini bercampur dengan udara dan tidak menghasilkan asap atau jelaga.

2.4.2. Bahan Bakar Cair (Solar)

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan mengebornya diladang-ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar.

Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda. Perbedaan minyak mentah yang utama ialah:

- a. Yang bersifat Parafinis (*paraffinic base*), ialah persenyawaan zat air arang yang membentuk rantai yang panjang atau sering disebut sebagai
- b. persenyawaan *alifatis*, yang terdiri dari Alkan C_nH_{2n+2} atau Alkin C_nH_{2n} .
- c. Yang bersifat Naphtenis (*naphtenic base*), ialah persenyawaan zat air arang yang berbentuk *siklis*, atau Aromat C_nH_{2n+6} atau Cyclan C_nH_{2n} .

Minyak bumi (*crude oil*) hanya digunakan sebagai minyak bakar langsung di dalam mesin boiler bila sedikit sekali mempunyai kandungan-kandungan persenyawaan zat air arang dengan titik atau temperatur mendidih yang rendah, sehingga tidak banyak manfaatnya untuk memisah-misalkannya. Keadaan yang demikian ini adalah keadaan yang khusus.

Umumnya dari minyak bumi (*crude oil*) dapat dipisah-pisahkan beberapa macam bahan bakar cair, antara lain berbagai jenis bensin, minyak tanah, kerosin, solar serta minyak berbagai jenis minyak bakar untuk boiler. Pemisahan-pemisahan menjadi beberapa bahan bakar tersebut dilakukan dengan jalan distilasi bertingkat melalui berbagai tingkatan temperatur.

Minyak solar biasa digunakan pada boiler, baik yang stasioner maupun yang bergerak. Dalam hal instalasinya, pemakaian minyak solar dalam boiler akan lebih murah dibanding batubara. Disamping itu, pemakaian minyak solar tidak menimbulkan masalah abu. Akan tetapi pada boiler tekanan tinggi dan suhu tinggi dapat menimbulkan korosi dan kerusakan pada superheater tube.

2.5. Proses Pembakaran

2.5.1. Prinsip Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksigen (O_2) dari udara, disertai cahaya dan menghasilkan kalor. Hasil pembakaran yang utama adalah Karbondioksida (CO_2), uap air (H_2O) dan disertai energi panas.

Sedangkan hasil pembakaran yang lain adalah Karbonmonoksida (CO), abu (ash), NO_x, atau SO_x tergantung pada jenis bahan bakarnya. Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut:

- Karbon + oksigen = Karbon dioksida + panas
 - Hidrogen + oksigen = Uap air + panas
 - Sulfur + oksigen = Sulfur dioksida + panas
- Beberapa hal yang terjadi pada proses pembakaran :

a. Pembakaran dengan udara kurang

Dikatakan campuran *rich*. Pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Api reduksi ditandai oleh lidah api panjang, kadang-kadang sampai terlihat berasap. Keadaan ini juga disebut pembakaran tidak sempurna.

Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena bahan bakar berlebih serta ada bahan bakar yang tak terbakar di samping terdapat hasil pembakaran seperti CO, CO₂, Uap air, dan N₂.

b. Pembakaran dengan udara berlebih.

Dikatakan campuran *lean*. Pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena udara berlebih serta hasil pembakaran seperti CO₂, Uap air, O₂ dan N₂.

c. Pembakaran dengan udara optimum

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dan panas yang hilang minimum serta terdapatnya hasil pembakaran seperti CO₂, Uap air, dan N₂. Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam burner (sebelum pembakaran) dan udara sekunder

yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah *burner*, melalui ruang sekitar ujung burner atau melalui tempat lain pada dinding dapur.

Pada umumnya bahan bakar telah berubah menjadi uap (*combustible vapor*) sebelum terbakar. Untuk mempercepat terjadinya “combustible vapor” diperlukan proses pengabutan. Butiran-butiran kabut tersebut luas permukaannya menjadi sangat besar, hingga mempercepat penguapan.

2.5.2. Pembakaran Tiga T

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” pembakaran yaitu :

1. *Temperature*, suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar,
2. *Turbulence*, Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan
3. *Time*, Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

Bahan bakar yang umum digunakan seperti gas alam dan propan biasanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang, yang mungkin dapat digunakan untuk transfer panas lebih lanjut.

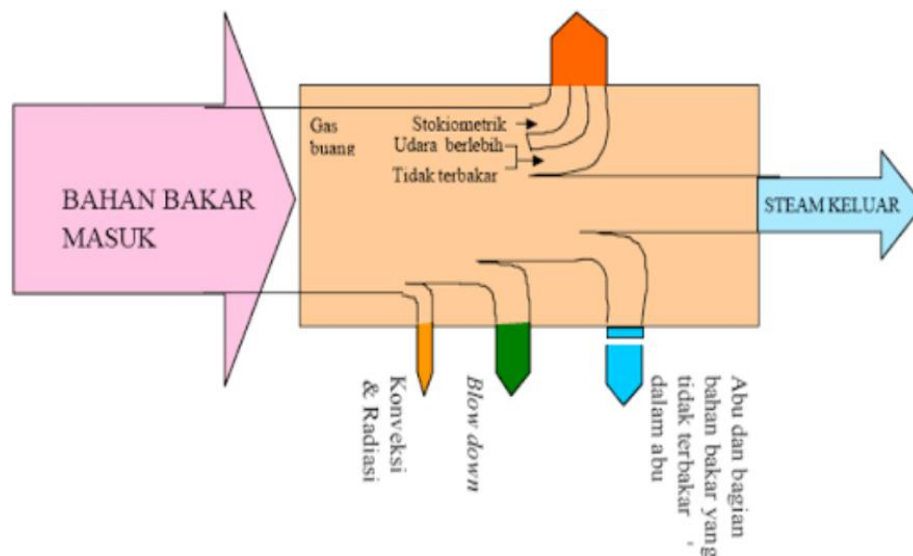
Gas alam mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar minyak, sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya, akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam.

Terlalu banyak, atau terlalu sedikit nya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah O_2 tertentu diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna.

Saat ini, hampir seluruh bahan bakar untuk boiler, karena dibatasi oleh standar polusi, sudah mengandung sedikit atau tanpa sulfur. Sehingga tantangan utama dalam efisiensi pembakaran adalah mengarah ke karbon yang tidak terbakar (dalam abu atau gas yang tidak terbakar sempurna), yang masih menghasilkan CO selain CO_2 .

2.5.3. Neraca Kalor

Neraca kalor atau neraca energi adalah perimbangan antara energy masuk (input) dengan energy berguna (output) dan kehilangan energy (loses). Sebagai energy masuk atau suplai energy (Q_{in}) adalah jumlah energy hasil pembakaran bahan bakar, neraca kalor di tunjukkan pada gambar 2.5. berikut.



Gambar 2.4. Neraca Kalor

2.5.4 Proses Pembakaran Bahan Bakar Gas

Pembakaran bahan bakar yang berupa gas, yang hampir keseluruhannya terdiri dari Karbon (C) dan Hidrogen (H), mula-mula berlangsung dengan mengurai gas-gas hingga menghasilkan komponen-komponen dari gas air (CO dan H₂) bila kondisi Oksigen (O₂) mencukupinya. Hal ini dapat diikuti dengan mudah pada *burner*.

Dengan penyetelan yang tepat pengaliran udara pembakar, maka gas yang keluar dari *burner* akan menarik sejumlah udara primer tertentu, yang cukup untuk penguraian gas-gas menjadi CO₂ dan H₂ (yang biasa disebut gas air atau *water gas*).

Penguraian gas-gas ini berlangsung di dalam kerucut bunga api yang paling dalam, pada temperature yang lebih rendah daripada temperatur bila pembakaran telah berlangsung sepenuhnya.

Pembakaran dari gas air (*water gas*) yang terbentuk, yang dilakukan oleh oksigen dari udara sekunder yang mengalir disekeliling bunga api akan berlangsung pada temperatur yang tinggi di lapisan yang tipis, yang tidak bercahaya dari bunga api dan berlangsung sangat cepat bila oksigen yang tersedia mencukupinya.

Jika arus udara primer tidak mencukupi atau bila pencampurannya dengan gas-gas tidak sempurna, maka penguraian menjadi *water gas* akan terganggu. Mula-mula yang terurai terlebih dahulu adalah karbon yang berupa partikel-partikel kecil yang melayang-layang di dalam bunga api. Bila kemudian temperatur menjadi cukup tinggi dan oksigennya mencukupi, maka penguraian menjadi *water gas* akan dilanjutkan dan partikel-partikel karbon yang terbentuk

tadi akan terbakar, mula-mula menjadi CO yang kemudian dilanjutkan lagi menjadi CO₂.

Karena penguraian menjadi water gas yang terganggu tadi, maka bunga api menjadi lebih panjang daripada yang disebutkan tadi, lagi pula partikel-partikel karbon yang menyala pada waktu terbakar akan mejadikan bunga api terlihat menyala. Bila temperatur di luar bunga api terlalu dingin atau aliran udara pembakar kurang cukup maka partikel-partikel karbon yang terurai tadi seluruhnya tidak terbakar sehingga masih berujud partikel-partikel karbon yang berupa jelaga (*soot*) yang melayang-layang di dalam bunga api.

2.5.5 Pembakaran Bahan Bakar Cair (solar)

Sebelum pembakaran berlansung maka terlebih dahulu bahan bakar diuraikan menjadi gas-gas. Bahan bakar cair umumnya terdiri dari karbon, hidrogen dan sulfur.

Oksidasi karbon agak lambat dan lebih sulit bila di bandingkan dengan unsur hidrogen dan sulfur. Walaupun karbon mempunyai suhu pembakaran yang lebih rendah dari zat air, karbon adalah zat padat dengan temperatur tinggi dan pembakarannya relatif lambat.

Sebagai konsekuensinya pada beberapa proses pembakaran yang teoritisi, ini akan diasumsikan bahwa kedua unsur sulfur dan hidrogen terbakar dengan sempurna sebelum karbon terbakar. Selanjutnya semua karbon teroksidasi menjadi karbonmonoksida (CO) sebelum setiap karbon berubah menjadi karbondioksida (CO₂).

2.6 Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler dapat dihitung dengan dua cara, yaitu :

1. Metode langsung

$$\text{Efisiensi Boiler (\%)} = \frac{Q \times (H_g - H_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100$$

Parameter yang di pantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah :

- a. Jumlah steam yang di hasilkan per jam (Q) dalam kg/jam.
- b. Jumlah bahan bakar yang di gunakan per jam (Q) dalam kg/jam.
- c. Tekanan kerja (dalam bar) dan suhu lewat panas ($^{\circ}\text{C}$), jika ada.
- d. Suhu air umpan($^{\circ}\text{C}$).
- e. Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar atau *Gross Calories Value* (GVC) dalam kkal/kg bahan bakar.

2. Metode tidak langsung

Yang dimaksud dengan perhitungan efisiensi boiler tidak langsung adalah perhitungan yang tidak langsung melibatkan komponen utama rumusan efisiensi boiler yakni energi output dan input, melainkan dengan jalan menghitung kerugian-kerugian yang ada. Perhitungan efisiensi tidak langsung dilakukan dengan cara terbalik yakni fokus ke parameter-parameter *losses* serta *energy credit* Yang dimaksud dengan kredit energi adalah energi-energi sekunder yang masuk ke boiler selain energi primer dari bahan bakar. Sedangkan *losses* adalah parameter-parameter energi terbuang yang tidak terkonversikan menjadi energi panas di dalam uap air. Petunjuk perhitungan dan pengukuran dari parameter-parameter tersebut sangat datail dijabarkan melalui standardisasi.

Metode tidak langsung dilakukan dengan sangat detail pada setiap parameter yang diukur, sehingga tingkat keakuratannya dianggap jauh lebih baik dibandingkan dengan metode langsung. Namun tentu metode tidak langsung ini membutuhkan biaya yang lebih besar karena membutuhkan peralatan-peralatan khusus di dalamnya. Atas dasar itulah banyak yang menganggap metode tidak langsung ini lebih cocok digunakan pada boiler-boiler skala besar, dan tentu tidak terlalu cocok digunakan untuk menghitung efisiensi boiler kecil.

Secara praktis efisiensi boiler dapat dihitung dengan menggunakan grafik rugi-rugi panas dan eksek udara. Dalam hal ini penulis akan mempergunakan metode langsung dalam melakukan perhitungan untuk mengetahui efisiensi yang terjadi pada boiler.

Proses yang terjadi pada boiler adalah air yang masuk ke dalam boiler dipanaskan hingga menjadi uap, maka panas yang dibutuhkan oleh boiler untuk memanaskan air sampai menjadi uap dengan kapasitas produksi uap pada boiler 1 Ton, Secara teoritis kesetimbangan energynya di tuliskan sebagai berikut

$$Q + h_{in} = h_{out} + W \quad (2.1)$$

Karena tidak ada kerja yang terjadi di dalam boiler maka $W = 0$ sehingga persamaan tersebut menjadi $Q = h_{out} - h_{in}$. Kondisi tersebut adalah kondisi aktual, dimana $h_{in} = h_1$ dan $h_{out} = h_2$. Jadi banyaknya panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air sampai menjadi uap dengan kapasitas produksi uap pada boiler 1 Ton maka :

$$Q_{in} = S(h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

Sehingga untuk mendapatkan panas yang dihasilkan oleh boiler dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho_{air} \times Q_{air} \quad (2.3)$$

$$Q_{boiler} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Untuk proses pembakaran pada boiler digunakan bahan bakar solar dan gas sehingga jumlah pemakaian bahan bakar, B_e (kg bahan bakar/jam) dapat dihitung, secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}} \quad (2.4)$$

Perbandingan jumlah uap yang dihasilkan terhadap pemakaian bahan bakar, E (kg uap/kg bahan bakar).

$$E = \frac{S}{B_e} \quad (2.5)$$

Sehingga panas yang dihasilkan oleh bahan bakar secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q_{bahanbakar} = \dot{m} \times N_{KB} \quad (2.6)$$

Kemudian untuk menentukan efisiensi boiler berdasarkan rumus yang telah diketahui dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{bahanbakar}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Spesifik gravity (SG) merupakan perbandingan densitas suatu fluida terhadap fluida standart (*reference*), dan untuk menentukan massa jenis fluida dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$SG_{fluida} = \frac{\rho_{fluida}}{\rho_{air}} \quad (2.8)$$

$$\rho_{fluida} = \rho_{air} \times SG_{fluida}$$

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

3.1.1. Waktu

Dalam melaksanakan Tugas Sarjana ini saya melaksanakannya pada waktu semester delapan tahun ajaran 2016 – 2017 dan di perkirakan akan selesai selama kurang lebih 5 bulan, seperti yang di tunjukkan pada table 3.1. berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penentuan Topik																				
2	Pengajuan Judul																				
3	Survey Data																				
4	Pembuatan Proposal																				
5	Penulisan Tugas Sarjana																				
6	Seminar Tugas Sarjana																				
7	Sidang Tugas Sarjana																				

3.1.2. Tempat

Adapun tempat – tempat yang akan di jadikan tempat pelaksanaan Tugas Sarjana antara lain adalah sebagai berikut:

1. Kampus UMSU

Pada tempat ini penulis melaksanakan pengerjaan Tugas Sarjana berupa pembimbingan dari dosen pembimbing, pengambilan referensi di

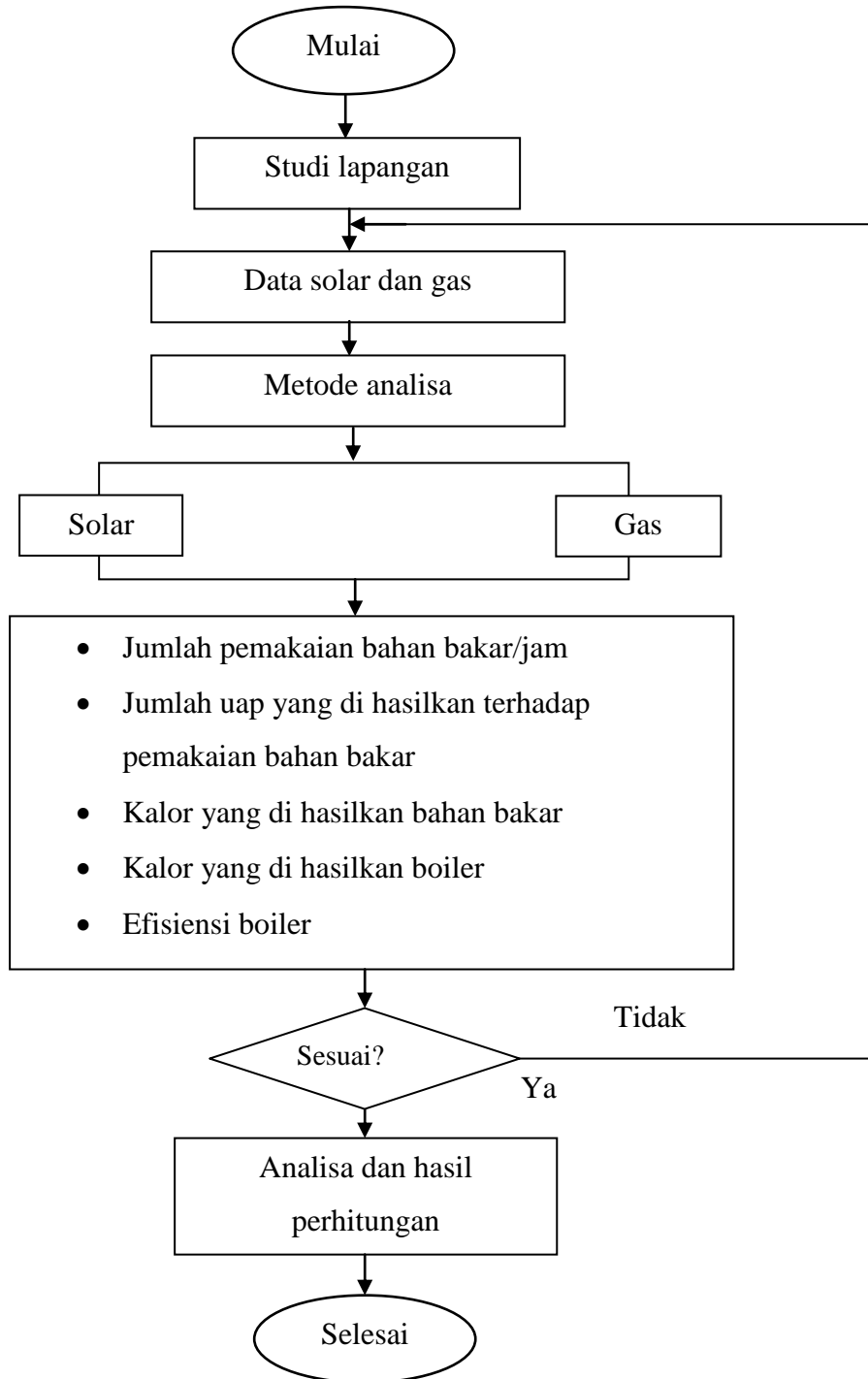
perpustakaan, searching internet untuk pencarian bahan bahan yang berkaitan dengan Tugas Sarjana.

2. Industri

Pada tempat ini penulis meminta data data spesifikasi, performance dan kegunaan boiler serta meminta bimbingan dari karyawan dan asisten manager teknik dari Industri.

3.2. Diagram Alir Analisa

Diagram alir dari analisa ini dapat di lihat pada gambar 3.1 Di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisa

3.3 Langkah – langkah Analisa

Langkah – langkah yang di lakukan dalam melakukan analisa ini, adalah sebagai berikut.

1. Mulai

Pembuatan proposal Tugas Sarjana dengan judul “**Analisa Efisiensi Bahan Bakar Pada Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton/Jam Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri**”.

2. Studi Lapangan

Melakukan survey dan studi di Industri selama 1 bulan untuk memahami cara kerja boiler, komponen komponen boiler secara langsung.

3. Data Solar dan Gas

Data yang di ambil ditunjukkan pada tabel 3.2.

Table 3.2. Kondisi Operasi Ketel Uap (Boiler) Pada Industri

No	Uraian	Keterangan
1	Jenis Pipa	Pipa Api
2	Kapasitas uap operasi	1 ton / jam
3	Macam bahan bakar	Solar dan Gas
4	Temperatur air didalam Boiler	80 ⁰ C
5	Temperatur uap keluar	120 ⁰ C
6	Tekanan air masuk	7,65 kg/cm ²
7	Tekanan uap keluar	7,14 kg/cm ²
8	Tekanan air pompa	5,1 kg/cm ²
9	Debit air	5 m ³ /jam
10	Operasi	24 jam / hari

- Data- data bahan bakar :

1. Solar

Spesifik gravity, (SG) = 0,92

Debit solar, (Q_{solar}) = 0,42 m³/jam

Nilai pembakaran bawah bahan bakar, (N_{KB}) = 10000 kkal/kg

2. Gas

Debit gas (Q_{gas}) = 0,612 m³/jam

Nilai kalor netto, (N_{CV}) = 9350 kkal/kg

Spesifik Gravity, (SG) = 0,6

- Air masuk ke boiler dengan tekanan, $P_1 = P_{in} = 7,65 \text{ kg/cm}^2 = 0,75 \text{ MPa}$
- Tekanan uap keluar dari boiler, $P_2 = P_{out} = 7,14 \text{ kg/cm}^2 = 0,7 \text{ MPa}$
- Debit air yang masuk ke dalam boiler, $Q_{air} = 5 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kapasitas produksi boiler 1 Ton uap/jam $S = 1000 \text{ kg uap/jam}$
- Temperatur air masuk untuk boiler, $80^\circ \text{C} = 273 + 80 = 353 \text{ K}$
- Air keluar dari boiler dengan kondisi uap jenuh pada tekanan $P_2 = 0,7 \text{ MPa}$ Kondisi air pada tekanan P_2 maka berdasarkan tabel tekanan didapatkan data sebagai berikut :

$h_2 = 2762,95 \text{ kJ/kg}$ (Interpolasi dari tabel B-1b)

$T_2 = 273 + 120 = 393 \text{ K}$

Kondisi sifat-sifat air pada temperatur 80°C

1. Massa jenis air (ρ_{air}) = 974,08 kg/m³ (Tabel C-3)
2. Kapasitas panas pada tekanan konstan (C_p) = 4,1964 x 10³ J/kg.K (Tabel C-3)
3. Volume spesifik air ($V_a = V_f$) = 1,029 x 10⁻³ m³/kg (Tabel B-1a)
4. Entalpi spesifik air ($h_a = h_f$) = 334,9 kJ/kg (Tabel B-1a)
5. Tekanan air, ($P_{air \text{ masuk pompa}}$) = 0,05 MPa (Tabel B-1a)

4. Metode Analisa

Metode analisa yang di lakukan meliputi :

- Jumlah pemakaian bahan bakar/jam

- Jumlah uap yang di hasilkan terhadap pemakaian bahan bakar
- Perhitungan kalor yang di hasilkan boiler
- Perhitungan kalor yang di hasilkan bahan bakar
- Efisiensi boiler

5. Analisa dan Perhitungan Data Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengambilan data kemudian data tersebut di analisa untuk mendapatkan hasil efisiensi bahan bakar boiler pipa api kapasitas uap 1 ton/jam menggunakan bahan bakar solar dan gas.

3.4 Alat – alat

1. Boiler pipa api

Sebagai alat utama yang akan di analisa



Gambar 3.2. Boiler Pipa Api

2. Hydrometer

Berfungsi untuk menentukan rasio densitas cairan, dalam hal ini solar



Gambar 3.3. Hydrometer

3. Effusiometer

Berfungsi untuk menentukan spesifik gravity gas



Gambar 3.4. Effusiometer

4. Thermometer

Berfungsi untuk mengetahui temperatur air dalam boiler



Gambar 3.5. Thermometer

5. Thermometer

Berfungsi untuk mengetahui temperatur steam



Gambar 3.6. Thermometer

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data

4.1.1. Banyaknya Kalor Yang Di Butuhkan Untuk Memanaskan Boiler

Air masuk ke boiler dengan kondisi, $P_1 = 0,75 \text{ MPa}, T_1 = 353 \text{ K}$

$$h_1 = h_f + V_f (P_1 - P_a)$$

$$h_1 = 334,9 \text{ kJ/kg} + 1,029 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg} (0,75 - 0,05) \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$h_1 = 335,62 \text{ kJ/kg}$$

Air keluar dari boiler dengan kondisi uap jenuh pada tekanan $P_2 = 0,7 \text{ MPa}$

Kondisi air pada tekanan P_2 maka berdasarkan tabel tekanan didapatkan data sebagai berikut :

$$h_2 = 2762,95 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Interpolasi dari tabel B1})$$

$$T_2 = 273 + 120 = 393 \text{ K}$$

$$Q_{in} = S (h_2 - h_1)$$

$$Q_{in} = 1000 \text{ kg uap / jam} (2762,95 - 335,62) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = 2427330 \text{ kJ / jam} = 0,674 \text{ MW}$$

4.1.2. Jumlah Pemakaian Bahan Bakar, (B_e)

Solar

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}}$$

$$B_e = \frac{2427330 \text{ kJ / jam}}{10000 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ J / kal}}$$

$$B_e = 57,97 \text{ kg bahan bakar / jam}$$

Gas

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}}$$

$$B_e = \frac{2427330 \text{ kJ} / \text{jam}}{9350 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}}$$

$$B_e = 62 \text{ kg bahan bakar} / \text{jam}$$

4.1.3. Perbandingan Jumlah Uap Yang Dihasilkan Terhadap Pemakaian

Bahan Bakar (E)

Solar

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg uap} / \text{jam}}{57,97 \text{ kg bahan bakar} / \text{jam}}$$

$$E = 17,25 \text{ kg uap} / \text{bahan bakar}$$

Gas

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg uap} / \text{jam}}{62 \text{ kg bahan bakar} / \text{jam}}$$

$$E = 16,12 \text{ kg uap} / \text{bahan bakar}$$

4.1.4. Perhitungan Kalor Yang Dihasilkan Boiler

Di asumsikan ρ_{air} pada temperature 80°C

$$\dot{m} = \rho_{air} \times Q_{air}$$

$$\dot{m} = \frac{974,08 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 5 \text{ m}^3 / \text{jam}}{3600}$$

$$\dot{m} = 1,35 \text{ kg} / \text{dtk}$$

$$Q_{boiler} = m(h_2 - h_1)$$

$$Q_{boiler} = 1,35(2762,95 - 335,62) \text{ kJ / kg}$$

$$Q_{boiler} = 3276,89 \text{ kW}$$

4.1.5. Perhitungan Kalor Yang Dihasilkan Bahan Bakar

Solar

Data-data :

$$\text{Spesifik gravity (SG)} = 0,92$$

$$\text{Debit solar (} Q_{solar} \text{)} = 0,42 \text{ m}^3 / \text{jam}$$

$$\text{Nilai kalor bawah (} N_{kb} \text{)} = 10000 \text{ kkal}$$

Massa jenis air (ρ_{air}) pada kondisi ruang $27^\circ\text{C} + 273 = 300\text{K}$

$$\rho = 1 \text{ atm} \longrightarrow \rho_{air} = 998,44 \text{ kg / m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_{solar} \times Q_{solar}$$

$$\dot{m} = (\rho_{air} \times SG_{solar}) Q_{solar}$$

$$= (998,44 \text{ kg / m}^3 \times 0,92) 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$= 0,107 \text{ kg / dtk}$$

$$N_{KB} = 10000 \text{ kkal / kg} \times 4,187 \text{ J / kal}$$

$$= 41870 \text{ kJ / kg}$$

$$Q_{bahanbakar} = \dot{m} \times N_{KB}$$

$$= 0,107 \text{ kg / dtk} \times 41870 \text{ kJ / kg}$$

$$= 4480,09 \text{ kW}$$

Gas

Data-data :

$$\text{Spesifik gravitasi (SG)} = 0,6$$

$$\text{Debit gas } (Q_{gas}) = 0,612 \text{ m}^3 / \text{jam}$$

$$\text{Nilai kalor netto } (N_{CV}) = 9350 \text{ kkal} / \text{kg}$$

$$\text{Massa jenis air } (\rho_{air}) \text{ pada kondisi ruang } 27^\circ\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$\rho = 1 \text{ atm} \longrightarrow \rho_{air} = 998,44 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_{gas} \times Q_{gas}$$

$$\dot{m} = (\rho_{air} \times SG_{gas}) Q_{gas}$$

$$= (998,44 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,6) 0,612 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$= 0,102 \text{ kg} / \text{dtk}$$

$$N_{KB} = 9350 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}$$

$$= 39148,45 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$Q_{bahanbakar} = \dot{m} \times N_{KB}$$

$$= 0,102 \text{ kg} / \text{dtk} \times 39148,45 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$= 3993,14 \text{ kW}$$

4.1.6. Efisiensi BoilerSolar

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{bahanbakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{3276,89}{4480,09} \times 100\%$$

$$= 73,14\%$$

Gas

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{bahanbakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{3276,89}{3993,14} \times 100\%$$

$$= 82,06\%$$

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri

No	Perhitungan	Solar	Gas
1	Jumlah pemakaian bahan bakar per jam (Be)	57,97 kg bb/jam	62 kg bb/jam
2	Perbandingan jumlah uap yang di hasilkan terhadap pemakaian bahan bakar (E)	17,25 kg uap/bb	16,12 kg uap/bb
3	Kalor yang di hasilkan boiler (Q boiler)	3276,89 kW	
4	Kalor yang di hasilkan bahan bakar (Q bahan bakar)	4480,09 Kw	3993,14 kW
5	Efisiensi	73,14 %	82,06 %

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka di peroleh efesiensi boiler yaitu sebesar 73,14 % dengan pemakain bahan bakar solar sebesar 57,97 kg bahan bakar/jam sedangkan dengan pemakaian bahan bakar gas sebesar 62 kg bahan bakar/jam diperoleh efesiensi mesin boiler sebesar 82,06%.

Berikut ini penulis mencoba untuk membuat analisa perbandingan kinerja mesin boiler jika kondisinya sama dengan data yang di dapat tetapi penulis hanya membedakan pada tekanan yang masuk dan yang keluar menjadi ($P_1=P_2=0,6$ MPa) kemudian ($P_1=P_2=0,8$ MPa).Kondisi ini disesuaikan dengan bagian

produksi atas seijin manager engineering, untuk memenuhi kebutuhan uap pada bagian produksi dan untuk melihat hasil efisiensi jika tekanan air masuk dan tekanan uap keluar di bawah data yang sebenarnya atau di atas data yang sebenarnya.

4.2 Perbandingan Data Dengan Tekanan, $P_1 = 0,60$ MPa Dan $P_2 = 0,60$ MPa

Data-data :

Air masuk ke boiler dengan tekanan, $P_1 = P_{in} = 61,6 \text{ kg/cm}^2 = 0,60$ MPa dan tekanan uap keluar dari boiler, $P_2 = P_{out} = 61,4 \text{ kg/cm}^2 = 0,60$ MPa, debit air yang masuk ke dalam boiler, $Q_{air} = 5 \text{ m}^3/\text{jam}$, kapasitas produksi 1 Ton/jam, temperatur air masuk, $80^\circ\text{C} = 273 + 80 = 353 \text{ K}$. Kondisi sifat-sifat air pada temperature, 80°C sebagai berikut :

1. Massa jenis air (ρ_{air}) = $974,08 \text{ kg/m}^3$
2. Kapasitas panas pada tekanan konstan (C_p) = $4,1964 \times 10^3 \text{ J/kg.K}$
3. Volume spesifik air ($V_a = V_f$) = $1,029 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
4. Entalpi spesifik air ($h_a = h_f$) = $334,9 \text{ kJ/kg}$
5. Tekanan air, ($P_{air \text{ masuk pompa}}$) = $0,05 \text{ MPa}$

4.2.1. Banyaknya Kalor Yang Di Butuhkan Untuk Memanaskan Boiler

Air masuk ke boiler dengan kondisi, $P_1 = 0,60 \text{ Mpa}$, $T_1 = 353 \text{ K}$

$$h_1 = h_f + V_f (P_1 - P_a)$$

$$h_1 = 334,9 \text{ kJ/kg} + 1,029 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg} (0,60 - 0,05) \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$h_1 = 335,46 \text{ kJ/kg}$$

Air keluar dari boiler dengan kondisi uap jenuh pada tekanan $P_2 = 0,60$ MPa, Kondisi air pada tekanan P_2 maka berdasarkan tabel tekanan didapatkan data sebagai berikut :

$$h_2 = 2756,8 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Tabel B1})$$

$$T_2 = 273 + 120 = 393 \text{ K}$$

$$Q_{in} = S(h_2 - h_1)$$

$$Q_{in} = 1000 \text{ kg uap/jam} (2756,8 - 335,46) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = 2421340 \text{ kJ/jam} = 0,672 \text{ MW}$$

4.2.2. Jumlah Pemakaian Bahan Bakar, (B_e)

Solar

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}}$$

$$B_e = \frac{2421340 \text{ kJ/jam}}{10000 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ J/kal}}$$

$$B_e = 57,82 \text{ kg bahan bakar/jam}$$

Gas

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}}$$

$$B_e = \frac{2421340 \text{ kJ/jam}}{9350 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ J/kal}}$$

$$B_e = 61,85 \text{ kg bahan bakar/jam}$$

4.2.3. Perbandingan Jumlah Uap Yang Dihasilkan Terhadap Pemakaian

Bahan Bakar (E)

Solar

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg uap / jam}}{57,82 \text{ kg bahan bakar / jam}}$$

$$E = 17,29 \text{ kg uap / bahan bakar}$$

Gas

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg uap / jam}}{61,85 \text{ kg bahan bakar / jam}}$$

$$E = 16,16 \text{ kg uap / bahan bakar}$$

4.2.4. Perhitungan Kalor Yang Dihasilkan Boiler

Di asumsikan ρ_{air} pada temperature 80°C

$$\dot{m} = \rho_{\text{air}} \times Q_{\text{air}}$$

$$\dot{m} = \frac{974,08 \text{ kg / m}^3 \times 5 \text{ m}^3 / \text{jam}}{3600}$$

$$\dot{m} = 1,35 \text{ kg / dtk}$$

$$Q_{\text{boiler}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$Q_{\text{boiler}} = 1,35(2756,8 - 335,46) \text{ kJ / kg}$$

$$Q_{\text{boiler}} = 3268,809 \text{ kW}$$

4.2.5. Perhitungan Kalor Yang Dihasilkan Bahan Bakar

Solar

Data-data :

Spesifik gravity (SG) = 0,92

Debit solar (Q_{solar}) = $0,42 \text{ m}^3 / \text{jam}$

Nilai kalor bawah (N_{kb}) = 10000 kkal

Massa jenis air (ρ_{air}) pada kondisi ruang $27^{\circ}C + 273 = 300K$

$$\rho = 1 \text{ atm} \longrightarrow \rho_{air} = 998,44 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_{solar} \times Q_{solar}$$

$$\dot{m} = (\rho_{air} \times SG_{solar}) Q_{solar}$$

$$= (998,44 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,92) 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$= 0,107 \text{ kg} / \text{dtk}$$

$$N_{KB} = 10000 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}$$

$$= 41870 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$Q_{baharbakar} = \dot{m} \times N_{KB}$$

$$= 0,107 \text{ kg} / \text{dtk} \times 41870 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$= 4480,09 \text{ kW}$$

Gas

Data-data :

Spesifik gravity (SG) = 0,6

Debit gas (Q_{gas}) = $0,612 \text{ m}^3 / \text{jam}$

Nilai kalor netto (N_{CV}) = $9350 \text{ kkal} / \text{kg}$

Massa jenis air (ρ_{air}) pada kondisi ruang $27^{\circ}C + 273 = 300K$

$$\rho = 1 \text{ atm} \longrightarrow \rho_{air} = 998,44 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_{gas} \times Q_{gas}$$

$$\dot{m} = (\rho_{air} \times SG_{gas}) Q_{gas}$$

$$= (998,44 \text{ kg/m}^3 \times 0,6) 0,612 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$= 0,102 \text{ kg/dtk}$$

$$N_{KB} = 9350 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ J/kal}$$

$$= 39148,45 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{bahanbakar} = \dot{m} \times N_{KB}$$

$$= 0,102 \text{ kg/dtk} \times 39148,45 \text{ kJ/kg}$$

$$= 3993,14 \text{ kW}$$

4.2.6. Efisiensi Boiler

Solar

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{bahanbakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{3268,809}{4480,09} \times 100\%$$

$$= 72,96\%$$

Gas

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{bahanbakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{3268,809}{3993,14} \times 100\%$$

$$= 81,86\%$$

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri Dengan Membedakan $P_1 = 0,60 \text{ MPa}$ Dan $P_2 = 0,60 \text{ MPa}$

No	Perhitungan	Solar	Gas
1	Jumlah pemakaian bahan bakar per jam (Be)	57,82 kg bb/jam	61,85 kg bb/jam
2	Perbandingan jumlah uap yang di hasilkan terhadap pemakaian	17,29 kg uap/bb	16,16 kg uap/bb

	bahan bakar (E)		
3	Kalor yang di hasilkan boiler (Q boiler)	3268,809 Kw	
4	Kalor yang di hasilkan bahan bakar (Q bahan bakar)	4480,09 kW	3993,14 kW
5	Efisiensi	72,96 %	81,86 %

4.3 Perbandingan Data Dengan Tekanan, $P_1 = 0,80$ MPa Dan, $P_2 = 0,80$ MPa

Data-data :

Air masuk ke boiler dengan tekanan, $P_1 = P_{in} = 81,6 \text{ kg/cm}^2 = 0,80$ MPa dan tekanan uap keluar dari boiler, $P_2 = P_{out} = 81,4 \text{ kg/cm}^2 = 0,80$ MPa Debit air yang masuk ke dalam boiler, $Q_{air} = 5 \text{ m}^3/\text{jam}$, Kapasitas produksi 1 Ton/jam, Temperatur air masuk, $80^\circ\text{C} = 273 + 80 = 353 \text{ K}$. Kondisi sifat-sifat air pada temperature, 80°C sebagai berikut :

1. Massa jenis air (ρ_{air}) = $974,08 \text{ kg/m}^3$
2. Kapasitas panas pada tekanan konstan (C_p) = $4,1964 \times 10^3 \text{ J/kg.K}$
3. Volume spesifik air ($V_a = V_f$) = $1,029 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
4. Entalpi spesifik air ($h_a = h_f$) = $334,9 \text{ kJ/kg}$
5. Tekanan air, ($P_{air \text{ masuk pompa}}$) = $0,05 \text{ MPa}$

4.3.1. Banyaknya Kalor Yang Di Butuhkan Untuk Memanaskan Boiler

Air masuk ke boiler dengan kondisi, $P_1 = 0,80 \text{ Mpa}$, $T_1 = 353 \text{ K}$

$$h_1 = h_f + V_f (P_1 - P_a)$$

$$h_1 = 334,9 \text{ kJ/kg} + 1,029 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg} (0,80 - 0,05) \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$h_1 = 335,6 \text{ kJ/kg}$$

Air keluar dari boiler dengan kondisi uap jenuh pada tekanan $P_2 = 0,80$ MPa, Kondisi air pada tekanan P_2 maka berdasarkan tabel tekanan didapatkan data sebagai berikut :

$$h_2 = 2769,1 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Tabel B1})$$

$$T_2 = 273 + 120 = 393 \text{ K}$$

$$Q_{in} = S(h_2 - h_1)$$

$$Q_{in} = 1000 \text{ kg uap / jam} (2769,1 - 335,6) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = 2433500 \text{ kJ / jam} = 0,676 \text{ MW}$$

4.3.2. Jumlah Pemakaian Bahan Bakar, (B_e)

Solar

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}}$$

$$B_e = \frac{2433500 \text{ kJ / jam}}{10000 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ J / kal}}$$

$$B_e = 58,12 \text{ kg bahan bakar / jam}$$

Gas

$$B_e = \frac{Q}{N_{KB}}$$

$$B_e = \frac{2433500 \text{ kJ / jam}}{9350 \text{ kkal/kg} \times 4,187 \text{ J / kal}}$$

$$B_e = 62,16 \text{ kg bahan bakar / jam}$$

4.3.3. Perbandingan Jumlah Uap Yang Dihasilkan Terhadap Pemakaian

Bahan Bakar (E)

Solar

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg uap / jam}}{58,12 \text{ kg bahan bakar / jam}}$$

$$E = 17,2 \text{ kg uap / bahan bakar}$$

Gas

$$E = \frac{S}{B_e}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg uap / jam}}{62,16 \text{ kg bahan bakar / jam}}$$

$$E = 16,08 \text{ kg uap / bahan bakar}$$

4.3.4. Perhitungan Kalor Yang Dihasilkan Boiler

Di asumsikan ρ_{air} pada temperatur 80°C

$$\dot{m} = \rho_{\text{air}} \times Q_{\text{air}}$$

$$\dot{m} = \frac{974,08 \text{ kg / m}^3 \times 5 \text{ m}^3 / \text{jam}}{3600}$$

$$\dot{m} = 1,35 \text{ kg / dtk}$$

$$Q_{\text{boiler}} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$Q_{\text{boiler}} = 1,35(2769,1 - 335,6) \text{ kJ / kg}$$

$$Q_{\text{boiler}} = 3285,225 \text{ kW}$$

4.3.5. Perhitungan Kalor Yang Dihasilkan Bahan Bakar

Solar

Data-data :

Spesifik gravity (SG) = 0,92

Debit solar (Q_{solar}) = $0,42 \text{ m}^3 / \text{jam}$

Nilai kalor bawah (N_{kb}) = 10000 kkal

Massa jenis air (ρ_{air}) pada kondisi ruang $27^{\circ}C + 273 = 300K$

$$\rho = 1 \text{ atm} \longrightarrow \rho_{air} = 998,44 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_{solar} \times Q_{solar}$$

$$\dot{m} = (\rho_{air} \times SG_{solar}) Q_{solar}$$

$$= (998,44 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,92) 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$= 0,107 \text{ kg} / \text{dtk}$$

$$N_{KB} = 10000 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}$$

$$= 41870 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$Q_{baharbakar} = \dot{m} \times N_{KB}$$

$$= 0,107 \text{ kg} / \text{dtk} \times 41870 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$= 4480,09 \text{ kW}$$

Gas

Data-data :

Spesifik gravity (SG) = 0,6

Debit gas (Q_{gas}) = $0,612 \text{ m}^3 / \text{jam}$

Nilai kalor netto (N_{CV}) = $9350 \text{ kkal} / \text{kg}$

Massa jenis air (ρ_{air}) pada kondisi ruang $27^{\circ}C + 273 = 300K$

$$\rho = 1 \text{ atm} \longrightarrow \rho_{air} = 998,44 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{m} = \rho_{gas} \times Q_{gas}$$

$$\dot{m} = (\rho_{air} \times SG_{gas}) Q_{gas}$$

$$= (998,44 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,6) 0,612 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ dtk}}$$

$$= 0,102 \text{ kg} / \text{dtk}$$

$$N_{KB} = 9350 \text{ kkal} / \text{kg} \times 4,187 \text{ J} / \text{kal}$$

$$= 39148,45 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$Q_{\text{bahanbakar}} = \dot{m} \times N_{KB}$$

$$= 0,102 \text{ kg} / \text{dtk} \times 39148,45 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$= 3993,14 \text{ kW}$$

4.3.6. Efisiensi Boiler

Solar

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{Q_{\text{boiler}}}{Q_{\text{bahanbakar}}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{3285,225}{4480,09} \times 100\%$$

$$= 73,32\%$$

Gas

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{Q_{\text{boiler}}}{Q_{\text{bahanbakar}}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{3285,225}{3993,14} \times 100\%$$

$$= 82,27\%$$

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Boiler Pipa Api Kapasitas Uap 1 Ton Per Jam Dengan Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Gas Di Industri Dengan Membedakan $P_1 = 0,80 \text{ MPa}$ Dan $P_2 = 0,80 \text{ MPa}$

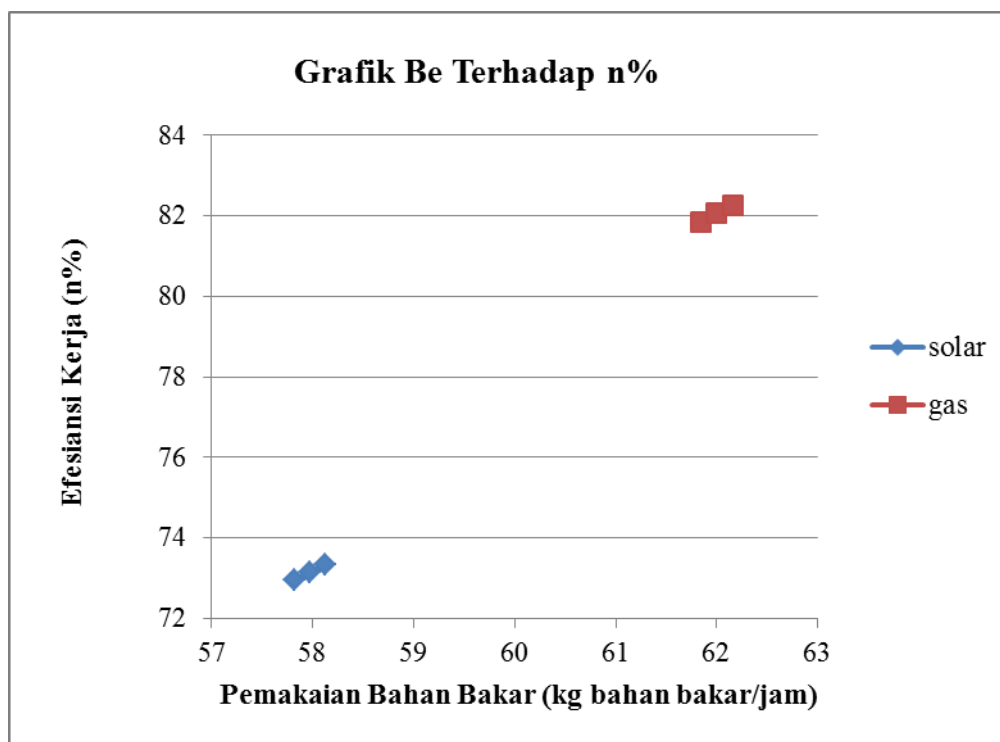
No	Perhitungan	Solar	Gas
1	Jumlah pemakaian bahan bakar per jam (Be)	58,12 kg bb/jam	62,16 kg bb/jam
2	Perbandingan jumlah uap yang di hasilkan terhadap pemakaian bahan bakar (E)	17,2 kg uap/bb	16,08 kg uap/bb
3	Kalor yang di hasilkan boiler (Q boiler)	3285,225 kw	

4	Kalor yang di hasilkan bahan bakar (Q bahan bakar)	4480,09 kw	3993,14 kw
5	Efisiensi	73,32 %	82,27 %

4.4. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Boiler

4.4.1. Perbandingan Jumlah Pemakaian Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Kerja

Di Tunjukkan Pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Jumlah Pemakaian Bahan Bakar (Be) Terhadap Efisiensi Kerja (n%)

Pada grafik di atas dijelaskan pemakaian bahan bakar dengan tiga kali perhitungan di dapatkan bahwa menggunakan bahan bakar gas lebih tinggi daripada menggunakan bahan bakar solar. Akan tetapi jika dilihat dari segi efisiensi, menggunakan bahan bakar gas lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar.

- Pada perhitungan (P_1 dan $P_2 = 0,60\text{MPa}$) memakai 61,85 kg bahan bakar gas per jam dengan efisiensi 81,86%
 - Pada perhitungan data sebenarnya ($P_1 = 0,75\text{MPa}$ dan $P_2 = 0,7\text{MPa}$) memakai 62 kg bahan bakar gas per jam dengan efisiensi 82,06%
 - Pada perhitungan (P_1 dan $P_2 = 0,80\text{MPa}$) memakai 62,16 kg bahan bakar gas per jam dengan efisiensi 82,27 %
- Sedangkan pemakaian bahan bakar terhadap efisiensi dengan menggunakan bahan bakar solar lebih rendah:
- Pada perhitungan (P_1 dan $P_2 = 0,60\text{MPa}$) memakai 57,82 kg bahan bakar solar per jam dengan efisiensi 72,96%
 - Pada perhitungan data sebenarnya ($P_1 = 0,75\text{MPa}$ dan $P_2 = 0,7\text{MPa}$) memakai 57,97 kg bahan bakar solar per jam dengan efisiensi 73,14%
 - Pada perhitungan (P_1 dan $P_2 = 0,80\text{MPa}$) memakai 58,12 kg bahan bakar solar per jam dengan efisiensi 73,32%.

4.5 Analisa Data

Dari hasil perhitungan yang telah di dapat bahwa kinerja boiler pada kondisi $P_{in} = 0,60\text{MPa}$, $P_{out} = 0,60\text{MPa}$ dan kondisi data sebenarnya $P_{in} = 0,75\text{MPa}$, $P_{out} = 0,7\text{MPa}$ dan kondisi $P_{in} = 0,80\text{MPa}$, $P_{out} = 0,80$ dengan temperatur air pengisian boiler 353 K dengan menggunakan bahan bakar solar menunjukkan hasil yang kurang maksimal, hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan, dimana efisiensi boilernya hanya berkisar dari 72,96 dan 73,14 % sampai dengan 73,32 %. Berbeda dengan kinerja boiler yang menggunakan bahan bakar gas dimana

efisiensinya berkisar 81,56 dan 82,06 % sampai dengan 82,27 % hal ini dapat dikarenakan oleh beberapa faktor salah satunya karena unsur-unsur kimia bahan bakar tersebut, dimana bahan bakar solar masih mengandung sulfur yang merupakan faktor terjadinya jelaga (kotoran yang menempel) sehingga rentan terhadap kerusakan akibat sisa-sisa pembakaran yang menempel pada pipa, dan proses pembakaran yang terjadi pada gas lebih cepat dan lebih sempurna dibandingkan dengan pembakaran yang terjadi pada solar.

Gas mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar solar sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan dimana perbandingan uap yang dihasilkan bakar solar sebesar 17,29 kg uap/bahan bakar dan 17,25 kg uap/bahan bakar sampai 17,25 kg uap/bahan bakar, sedangkan bahan bakar gas adalah 16,16 kg uap/bahan bakar dan 16,12 kg uap/bahan bakar sampai dan 16,08 kg uap/bahan bakar

Kemudian dengan menggunakan bahan bakar solar mempunyai nilai efisiensi lebih rendah tetapi pemakaian bahan bakarnya juga rendah sedangkan dengan pemakaian bahan bakar gas mempunyai nilai efisiensi lebih tinggi tetapi pemakaian bahan bakarnya juga lebih tinggi daripada solar. Kondisi temperatur air masuk sangat berpengaruh terhadap pemakaian bahan bakar dan kerja boiler, dengan kondisi temperatur air masuk yang tinggi maka waktu pemakaian bahan bakar akan menjadi hemat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan bakar gas mempunyai nilai efisiensi yang lebih tinggi yaitu rata-rata 8,82 % daripada bahan bakar solar, sehingga kinerja mesin boiler berbahan bakar gas lebih baik daripada mesin boiler berbahan bakar solar. Pada penggunaan bahan bakar solar resiko terjadinya pembentukan kerak dan jelaga sangat besar dikarenakan solar mempunyai unsur sulfur yang lebih banyak daripada gas, sehingga harus sering dilakukan perawatan minimal 1 minggu sekali sedangkan dengan penggunaan bahan bakar gas risikonya lebih kecil sehingga perawatannya cukup 2 minggu sekali. Jadi perubahan pemakaian bahan bakar dari bahan bakar solar ke bahan bakar gas dapat disimpulkan merupakan salah satu cara dalam meningkatkan efisiensi kerja mesin boiler tersebut.

5.2. Saran

Penulis menyarankan agar untuk lebih meningkatkan lagi efisiensi kerja mesin boiler tersebut adalah dengan melakukan pengolahan air umpan boiler, karena memproduksi uap panas yang berkualitas salah satunya tergantung pada pengolahan air yang benar untuk mengendalikan kemurnian uap panas, endapan dan korosi walaupun akan ada biaya lebih. Dan juga harus dilakukan pengontrolan dan perawatan yang rutin terhadap komponen-komponen mesin boiler tersebut terutama pada komponen yang terkait dalam meningkatkan efisiensi kerja mesin.

DAFTAR PUSTAKA

Djokosetyardjo, M.J, 1990, “ *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap Edisi Pertama* ”. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Harahap Filino, DR.MSc.Ir, 1996, “ *Termodinamika Teknik Edisi Kedua* ”.
Jakarta : Erlangga.

J.P Holman, 2010, “*Heat Transfer Tenth Edition* ” , New York : The Mc.Graw
Hills Companies, Inc.

Koestoer, Raldi Artono, 2002, *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*,
Ed. 1, Jakarta : Salemba Teknika.

Lindsley David, 1991 “*Boiler Control System*”. Mc.Graw Internasional.

Maulana Noviardi, 2017 “*Analisa Kebutuhan Uap Untuk Produksi 20 Ton Uap/Jam*”. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Tabel B.1a Berbagai sifat H₂O jenuh – tabel temperatur (SI)*

T, °C	P, MPa	Volume, m ³ /kg		Energi, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/(kg · K)		
		<i>v_f</i>	<i>v_g</i>	<i>u_f</i>	<i>u_g</i>	<i>h_f</i>	<i>h_{fg}</i>	<i>h_g</i>	<i>s_f</i>	<i>s_{fg}</i>	<i>s_g</i>
0,010	0,0006113	0,001000	206,1	0,0	2375,3	0,0	2501,3	2501,3	0,0000	9,1571	9,1571
2	0,0007056	0,001000	179,9	8,4	2378,1	8,4	2496,6	2505,0	0,0305	9,0738	9,1043
5	0,0008721	0,001000	147,1	21,0	2382,2	21,0	2489,5	2510,5	0,0761	8,9505	9,0266
10	0,001228	0,001000	106,4	42,0	2389,2	42,0	2477,7	2519,7	0,1510	8,7506	8,9016
15	0,001705	0,001001	77,93	63,0	2396,0	63,0	2465,9	2528,9	0,2244	8,5578	8,7822
20	0,002338	0,001002	57,79	83,9	2402,9	83,9	2454,2	2538,1	0,2965	8,3715	8,6680
25	0,003169	0,001003	43,36	104,9	2409,8	104,9	2442,3	2547,2	0,3672	8,1916	8,5588
30	0,004246	0,001004	32,90	125,8	2416,6	125,8	2430,4	2556,2	0,4367	8,0174	8,4541
35	0,005628	0,001006	25,22	146,7	2423,4	146,7	2418,6	2565,3	0,5051	7,8488	8,3539
40	0,007383	0,001008	19,52	167,5	2430,1	167,5	2406,8	2574,3	0,5723	7,6855	8,2578
45	0,009593	0,001010	15,26	188,4	2436,8	188,4	2394,8	2583,2	0,6385	7,5271	8,1656
50	0,01235	0,001012	12,03	209,3	2443,5	209,3	2382,8	2592,1	0,7036	7,3735	8,0771
55	0,01576	0,001015	9,569	230,2	2450,1	230,2	2370,7	2600,9	0,7678	7,2243	7,9921
60	0,01994	0,001017	7,671	251,1	2456,6	251,1	2358,5	2609,6	0,8310	7,0794	7,9104
65	0,02503	0,001020	6,197	272,0	2463,1	272,0	2346,2	2618,2	0,8934	6,9384	7,8318
70	0,03119	0,001023	5,042	292,9	2469,5	292,9	2333,8	2626,8	0,9549	6,8012	7,7561
75	0,03858	0,001026	4,131	313,9	2475,9	313,9	2321,4	2635,3	1,0155	6,6678	7,6833
80	0,04733	0,001029	3,407	334,8	2482,2	334,8	2308,8	2643,7	1,0754	6,5376	7,6130
85	0,05783	0,001032	2,828	355,8	2488,4	355,8	2296,0	2651,9	1,1344	6,4109	7,5453
90	0,07013	0,001036	2,361	376,8	2494,5	376,8	2283,2	2660,1	1,1927	6,2872	7,4799
95	0,08445	0,001040	1,982	397,9	2500,6	397,9	2270,2	2668,1	1,2503	6,1664	7,4167
100	0,1013	0,001044	1,673	418,9	2506,5	418,9	2257,0	2676,0	1,3071	6,0486	7,3557
110	0,1433	0,001052	1,210	461,1	2518,1	461,1	2230,2	2691,5	1,4188	5,8207	7,2395
120	0,1985	0,001060	0,8919	503,5	2529,2	503,5	2202,6	2706,3	1,5280	5,6024	7,1304
130	0,2701	0,001070	0,6685	546,0	2539,9	546,0	2174,2	2720,5	1,6348	5,3929	7,0277

Tabel B.1b Berbagai sifat H₂O jenuh – tabel tekanan (SI) (lanjutan)

P, MPa	T, °C	Volume, m ³ /kg		Energi, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg		Entropi, kJ/(kg · K)			
		<i>v_f</i>	<i>v_g</i>	<i>u_f</i>	<i>u_g</i>	<i>h_f</i>	<i>h_{fg}</i>	<i>h_g</i>	<i>s_f</i>	<i>s_{fg}</i>	<i>s_g</i>
		0,16	113,3	0,001054	1,091	475,2	2521,8	475,3	2221,2	2696,5	1,4553
0,18	116,9	0,001058	0,9775	490,5	2525,9	490,7	2211,1	2701,8	1,4948	5,6683	7,1631
0,2	120,2	0,001061	0,8857	504,5	2529,5	504,7	2201,9	2706,6	1,5305	5,5975	7,1280
0,3	133,5	0,001073	0,6058	561,1	2543,6	561,5	2163,8	2725,3	1,6722	5,3205	6,9927
0,4	143,6	0,001084	0,4625	604,3	2553,6	604,7	2133,8	2738,5	1,7770	5,1197	6,8967
0,6	158,9	0,001101	0,3157	669,9	2567,4	670,6	2086,2	2756,8	1,9316	4,8293	6,7609
0,8	170,4	0,001115	0,2404	720,2	2576,8	721,1	2048,0	2778,1	2,0466	4,6170	6,6636
1	179,9	0,001127	0,1944	761,7	2583,6	762,8	2015,3	2784,8	2,1391	4,4482	6,5873
1,2	188,0	0,001139	0,1633	797,3	2588,8	798,6	1986,2	2790,0	2,2170	4,3072	6,5242
1,4	195,1	0,001149	0,1408	828,7	2592,8	830,3	1959,7	2790,0	2,2847	4,1854	6,4701
1,6	201,4	0,001159	0,1238	856,9	2596,0	858,8	1935,2	2794,0	2,3446	4,0780	6,4226
1,8	207,2	0,001168	0,1104	882,7	2598,4	884,8	1912,3	2797,1	2,3986	3,9816	6,3802
2	212,4	0,001177	0,09963	906,4	2600,3	908,8	1890,7	2799,5	2,4478	3,8939	6,3417
3	233,9	0,001216	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,1	2,6462	3,5416	6,1878
4	250,4	0,001252	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7970	3,2739	6,0709
6	275,6	0,001319	0,03244	1205,4	2589,7	1213,3	1571,0	2784,3	3,0273	2,8627	5,8900
8	295,1	0,001384	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,4	2758,0	3,2075	2,5365	5,7440
9	303,4	0,001418	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,8	2742,1	3,2865	2,3916	5,6781
10	311,1	0,001452	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3603	2,2546	5,6149
12	324,8	0,001527	0,01426	1472,9	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4970	1,9963	5,4933
14	336,8	0,001611	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6240	1,7486	5,3726
16	347,4	0,001711	0,009307	1622,7	2431,8	1650,0	930,7	2580,7	3,7468	1,4996	5,2464
18	357,1	0,001840	0,007491	1698,9	2374,4	1732,0	777,2	2509,2	3,8722	1,2332	5,1054
20	365,8	0,002036	0,005836	1785,6	2293,2	1826,3	583,7	2410,0	4,0146	0,9135	4,9281
22,063	374,136	0,003155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0,0	2099,3	4,4305	0,0000	4,4305

Entropi cairan jenuh telah disesuaikan agar fungsi Gibbs cairan tepat sama dengan fase uap. Oleh karena itu terdapat perbedaan kecil di antara berbagai angka yang dikemukakan di atas dengan berbagai tabel asli.

Sumber: Vol. 1, 2, dan 3, terjemahan dari berbagai persamaan yang diberikan dalam Steam Tables, oleh Keenan, Hill, dan Moore (Wiley, 1969, dengan izin).

C.3 Sifat-sifat cairan jenuh (satuan-satuan SI)

ρ , kg/m ³	c_p , J/(kg·K)	ν , m ² /s	k , W/(m·K)	α , m ² /s	Pr	β , K ⁻¹
1.002,28	$4,2178 \times 10^3$	$1,788 \times 10^{-6}$	0,552	$1,308 \times 10^{-7}$	13,6	
1.000,52	4,1818	1,006	0,597	1,430	7,02	$0,18 \times 10^{-3}$
994,29	4,1784	0,658	0,628	1,512	4,34	
985,46	4,1843	0,478	0,651	1,554	3,02	
974,08	4,1964	0,364	0,668	1,636	2,22	
960,63	4,2161	0,294	0,680	1,680	1,74	
945,25	4,250	0,247	0,685	1,708	1,446	
928,27	4,283	0,214	0,684	1,724	1,241	
909,69	4,342	0,190	0,680	1,729	1,099	
889,03	4,417	0,173	0,675	1,724	1,004	
866,76	4,505	0,160	0,665	1,706	0,937	
842,41	4,610	0,150	0,652	1,680	0,891	
815,66	4,756	0,143	0,635	1,639	0,871	
785,87	4,949	0,137	0,611	1,577	0,874	
752,55	5,208	0,135	0,580	1,481	0,910	
714,26	5,728	0,135	0,540	1,324	1,019	
dioksida, CO₂						
1.156,34	$1,84 \times 10^3$	$0,119 \times 10^{-6}$	0,0855	$0,4021 \times 10^{-7}$	2,96	
1.117,77	1,88	0,118	0,1011	0,4810	2,46	
1.076,76	1,97	0,117	0,1116	0,5272	2,22	
1.032,39	2,05	0,115	0,1151	0,5445	2,12	
983,38	2,18	0,113	0,1099	0,5133	2,20	
926,99	2,47	0,108	0,1045	0,4578	2,38	
860,03	3,14	0,101	0,0971	0,3608	2,80	
772,57	5,0	0,091	0,0872	0,2219	4,10	$14,00 \times 10^{-3}$
597,81	36,4	0,080	0,0703	0,0279	28,7	
difluorometan (Freon), CCl₂F₂						
1.546,75	$0,8750 \times 10^3$	$0,310 \times 10^{-6}$	0,067	$0,501 \times 10^{-7}$	6,2	$2,63 \times 10^{-3}$
1.518,71	0,8847	0,279	0,069	0,514	5,4	
1.489,56	0,8956	0,253	0,069	0,526	4,8	
1.460,57	0,9073	0,235	0,071	0,539	4,4	
1.429,49	0,9203	0,221	0,073	0,550	4,0	
1.397,45	0,9345	0,214	0,073	0,557	3,8	
1.364,30	0,9496	0,203	0,073	0,560	3,6	
1.330,18	0,9659	0,198	0,073	0,560	3,5	
1.295,10	0,9835	0,194	0,071	0,560	3,5	
1.257,13	1,0019	0,191	0,069	0,555	3,5	
1.215,96	1,0216	0,190	0,067	0,545	3,5	
yeol, [C₂H₄(OH)₂]						
1.130,75	$2,294 \times 10^3$	$57,53 \times 10^{-6}$	0,242	$0,934 \times 10^{-7}$	615	
1.116,65	2,382	19,18	0,249	0,939	204	$0,65 \times 10^{-3}$
1.101,43	2,474	8,69	0,256	0,939	93	
1.087,66	2,562	4,75	0,260	0,932	51	
1.077,56	2,650	2,98	0,261	0,921	32,4	
1.058,50	2,742	2,03	0,263	0,908	22,2	

CURRICULUM VITAE



A. DATA PRIBADI

1. Nama : AKBAR KELANA
2. Jenis Kelamin : Laki-Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 3 September 1995
4. Kebangsaan : Indonesia
5. Status : Belum Menikah
6. Pekerjaan : PT.Union Confectionery Medan
7. Tinggi/ Berat Badan : 169 cm/ 51 kg
8. Agama : Islam
9. Alamat : Jl. Brigjend Bedjoe No 3c
10. No.Hp : 0813 6112 3369
11. Email : Akbarkelana14@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. 2001-2007 : Lulus SD Negeri 060863 Medan
2. 2007-2010 : Lulus SMP Negeri 24 Medan
3. 2010-2013 : Lulus SMK Negeri 5 Medan
4. 2013-2018 : Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin S1