

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEHILANGAN PANAS (HEAT LOSS) PADA STERILIZER KAPASITAS 25 TON/JAM DI PKS PTPN IV ADOLINA

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

RAFLIN FAHREZA

2007230075



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rafli Fahreza
NPM : 2007230075
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis kehilangan panas (Heat Loss) pada sterilizer kapasitas 25 ton/jam di PKS PTPN IV Adolina
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

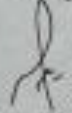
Medan, Agustus 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I


Dr. Suherman, S.T., M.T

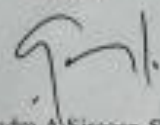
Dosen Penguji II


H. Muhamil M, S.T., M.Sc

Dosen Penguji III


Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua


Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	Raffie Fabrice
Tempat/Tanggal Lahir	Medan (21 Oktober 2002)
NPM	2007230073
Fakultas	Teknik
Program Studi	Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

"Analisis kehalangan panas (heat loss) pada sterilizer kapasitas 25 ton/jam di PKS PTPN IV Adolina"

Bukan merupakan plagiatisme, pemutusan hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena lubang material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari ditanya kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / kesempurnaan saya.

Demiikian 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, 21 Agustus 2024

Saya yang menyatakan


Raffie Fabrice

ABSTRAK

Kalor adalah sejenis energi yang dipindahkan dari sistem yang bertemperatur lebih tinggi ke yang lebih rendah sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Fungsi Sterilizer di pabrik kelapa sawit memanfaatkan steam untuk merebus atau mengolah Tandan Buah Segar (TBS). Steam jenuh digunakan, dan diumpangkan ke dalam Back Pressure Vessel pada tekanan 200-350 KPa (BPV). Jika kriteria tersebut tidak terpenuhi, efisiensi produksi CPO yang dicapai tidak akan sesuai dengan standar yang digariskan dalam SNI 01-2901-2006. Prosedur perebusan dilakukan dengan menggunakan sistem puncak ganda. Dalam penelitian kali ini metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai kehilangan panas yaitu dengan mengukur nilai kehilangan panas pada dinding dan tutup sterilizer, Hasil perhitungan kehilangan panas pada unit Sterilizer di PT. Perkebunan PKS PTPN IV Adolina. Karena suhu dan tekanan pada Sterilizer lebih tinggi pada puncak pertama dan kedua, pada unit Sterilizer menggunakan sistem perebusan dua puncak pada puncak, Perkebunan Nusantara IV PKS Adolina berevolusi dari yang pertama ke yang kedua. Puncak pertama memiliki nilai 12816.9873 kJ, sedangkan puncak kedua memiliki nilai 20003.409 kJ.

Kata Kunci : sterilizer, perebusan, perpindahan panas, kehilangan panas

ABSTRACT

eat is a type of energy transferred from a higher temperature system to a lower one as a result of a temperature difference. The function of the Sterilizer in a palm oil mill utilizes steam to boil or process Fresh Fruit Bunches (FFB). Saturated steam is used, and is fed into the Back Pressure Vessel at a pressure of 200-350 KPa (BPV). If these criteria are not met, the CPO production efficiency achieved will not be in accordance with the standards outlined in SNI 01-2901-2006. The boiling procedure is carried out using a double peak system. In this study, the method used to obtain the heat loss value is by measuring the heat loss value on the walls and lid of the sterilizer, The results of calculating heat loss in the Sterilizer unit at PT. Plantation PKS PTPN IV Adolina. Because the temperature and pressure in the Sterilizer are higher at the first and second peaks, the Sterilizer unit uses a two-peak boiling system at the peak, Plantation Nusantara IV PKS Adolina evolved from the first to the second. The first peak has a value of 12816.9873 kJ, while the second peak has a value of 20003.409 kJ.

Keywords: sterilizer, boiling, heat transfer, heat loss

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis kehilangan panas (heat loss) pada sterilizer kapasitas 25 ton/jam di PKS PTPN IV Adolina” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Sudirman Lubis , ST., MT selaku Dosen Pembimbing Prodi Teknik Mesin yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar S.T,M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar S.T,M.T sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik mesin kepada penulis.
5. Orang Tua Penulis:Junaidy dan Nurhayani, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis:Jayanti dan Rohim yang selalu mendukung saya dari awal penulisan tugas akhir, sekaligus sahabat pertukaran mahasiswa saya, Sanjaya dan jodi lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih tentunya jauh dari kesempurnaan,

untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis dimasa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu ke teknik-mesinan.

Medan, 21 Agustus 2024

Raflin Fahreza

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kelapa Sawit.....	4
2.2 Stasiun Sterilizer	5
2.2.1 Sterilizer vertikal.	6
2.2.2 Sterilizer horizontal	7
2.3 Boiler	9
2.4 <i>Steam</i> (Uap)	12
2.5 Panas.....	12
2.6 Perpindahan Panas	13
2.6.1 Perpindahan Panas secara Konduksi	14
2.6.2 Perpindahan Panas secara Konveksi.....	15
2.7 Keseimbangan Energi.....	16
2.8 Kondensasi	18
2.9 Konduktivitas Termal (Daya Hantar Panas).....	21
2.9.1 Proses Kehilangan Panas.	21
2.10. Efisiensi Termal.....	25

2.11. Kajian Penelitian Yang Relevan.....	25
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Tempat Dan Waktu.....	39
3.1.1 Tempat.....	39
3.2 Alat dan Bahan	39
3.2.1 Alat	39
3.2.2 Bahan	41
3.3 Bagan Alir Penelitian	48
3.4 Prosedur penelitian	48
3.5 Variabel yang akan di teliti.....	49
4.1 Data Hasil Pengujian	50
4.1.1 Energi masuk Sterilizer.....	50
4.1.2 Energi keluar Sterilizer	52
4.1.3 Perhitungan Perpindahan Panas Konveksi	52
4.1.4 Perhitungan Korfisien Konveksi Udara (ho)	55
4.1.5 Perhitungan Kehilangan Panas Melalui Dinding <i>Sterilizer</i> pada Puncak Pertama.....	57
4.1.6 Perhitungan Kehilangan Panas Melalui Dinding Sterilizer pada Puncak Kedua.....	60
4.1.7 Perhitungan kehilangan panas melalui tutup sterilizer pada puncak pertama.....	62
4.1.10 Menghitung kesetimbangan energi.....	68
4.1.11 Menghitung Efisiensi Thermal	69
4.2 Pembahasan	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	75
BERITA ACARA SEMINAR HASIL.....	83
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	86
SK PEMBIMBING	87

LEMBAR ASISTENSI 88

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	39
Tabel 3. 2. Spesifikasi Stasiun Sterilizer Horizontal.....	44
Tabel 3. 3. Spesifikasi lori Sterilizer.....	45
Tabel 3. 4. Data Penelitian PKS Adolina.....	46
Tabel 4. 1. Data Berdasarkan Temperatur Pada Setiap Puncak.....	53
Tabel 4. 2. Data Menghitung Koefisien Konveksi Steam Pada Setiap Puncak	53
Tabel 4. 3. Data Menghitung Koefisien Konveksi udara Pada Setiap Puncak	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tanaman Kelapa Sawit.....	4
Gambar 2. 2. Stasiun Sterilizer	6
<i>Gambar 2. 3. Sterilizer Vertikal.</i>	6
Gambar 2. 4. Sterilizer Horizontal	7
Gambar 2. 5. Stasiun Boiler.	10
Gambar 2. 6. Perpindahan Panas Konduksi.	14
Gambar 2. 7. Perpindahan Panas Konveksi.	15
Gambar 2. 8. Perpindahan Panas Radiasi.....	16
Gambar 2. 9. Keseimbangan energy pada sterilizer.....	17
Gambar 2. 10. Kondensasi Film pada Plat Vertikal.....	18
Gambar 2. 11. Lapisan Dinding Sterilizer	22
Gambar 2. 12. Tutup Sterilizer.....	25
Gambar 3. 1. Safety Valve	40
Gambar 3. 2. Manometer	40
Gambar 3. 3. Grafik Rototherm	41
Gambar 3. 4. Thermo Gun	41
Gambar 3. 5. Sterilizer.	43
<i>Gambar 3. 6. Dinding Sterilizer</i>	44
Gambar 3. 7. Tutup Sterilizer.....	44
Gambar 3. 8. Lori Sterilizer	45
Gambar 3. 9. Experimental set up sterilizer.....	47
Gambar 3. 10. Bagan Alir Penelitian	48
Gambar 4. 1. Hambatan	63
Gambar 4. 2. Grafik Total Kehilangan Panas	67
Gambar 4. 3. Grafik Keseimbangan Energi	68
Gambar 4. 4. Efisiensi Thermal.....	69

DAFTAR NOTASI

q	= Laju Perpindahan Panas (W)
k	= Konduktivitas termal (W/m^2C)
A	= Luasan penampang (m^2)
dT	= Perbedaan Suhu($^{\circ}C$)
dX	= Perbedaan Panjang/Jarak (m)
A	= Luas permukaan (m^2)
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2C)
T_s	= Temperatur Permukaan Dinding ($^{\circ}C$)
T	= Temperatur rata rata fluida ($^{\circ}C$)
q_r	= Laju Perpindahan Radiasi (W)
T	= Temperatur absolut dari permukaan ($^{\circ}C$)
σ	= Konstanta Stefan-Boltzmann($5,6703 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)
ΔU	= Perubahan energi dalam (Joule)
E_{in}	= Energi thermal masuk sistem (Joule)
E_{out}	= Energi thermal keluar sistem (Joule)
Q_{loss}	= Panas yang hilang melalui dinding sterilizer (Joule)
E_{uap}	= Energi uap yang masuk sterilizer (Joule)
$E_{kondensat}$	= Energi yang dibawa oleh kondensat (Joule)
m_{uap}	= Massa uap (kg)
h_{uap}	= Enthalpy uap (kJ/kg)
Ja	= Jacob Number
C_p	= Kalor spesifik (J/kg.K)
T_{sat}	= Temperatur saturasi/steam (K)
T_s	= Temperatur permukaan plat (K)
h_{fg}	= Entalpi Kondensasi (kJ/kg)
h'_{fg}	= Modified latent heat (kJ/kg)
P	= Parameter tak berdimensi
K	= Konduktivitas thermal liquid (W/m.K)
L	= Panjang plat (m)
M	= Viskositas(Ns/m^2)

V	= Viskositas kinematik (m/s ²)
G	= Percepatan gravitasi (m/s ²)
N	= Nusselt Number
Pr	= Prandtl Number
hi	= koefisien konveksi steam (W/m ² .K)
Ra	= <i>Rayleigh Number</i>
Tudara	= Temperatur udara luar sekitaran dinding sterilizer (K)
α	= Penyerapan panas (m ² /s)
ho	= Koefisien konveksi udara (W/m ² .K)
K	= Konduktivitas (W/m.K)
D	= Diameter dalam <i>Sterilizer</i> (m)
Q_{losses}	= Panas yang hilang melalui dinding <i>Sterilizer</i> (J)
L	= Panjang <i>Sterilizer</i> (m)
ΔT	= Perbedaan temperatur (°C ke K)
T_{steam}	= Temperatur <i>steam</i> per peak perebusan (°C ke K)
T_{udara}	= Temperatur udara luar (°C ke K)
$\sum R$	= Jumlah hambatan termal dari dinding <i>Sterilizer</i> (m.K/W)
k_1	= Konduktivitas termal lapisan 1 (W/m.K)
k_2	= Konduktivitas termal lapisan 2 (W/m.K)
k_3	= Konduktivitas termal lapisan 3 (W/m.K)
r_1	= Jari-jari dalam <i>Sterilizer</i> (m)
r_2	= Jari-jari luar <i>Sterilizer</i> (m)
r_3	= Jari-jari lapisan 1 (m)
r_4	= Jari-jari lapisan 2 (m)
r_5	= Jari-jari lapisan 3 (m)
A	= Luas alat (m ²)
T_{dalam}	= Temperatur di dalam alat (°C ke K)
ΔX_1	= Tebal lapisan 1 (m)
ΔX_2	= Tebal lapisan 2 (m)
A	= Luas tutup <i>Sterilizer</i> (m)
K_{plat}	= Konduktivitas termal plat (W/m.K)
T	= tebal plat tutup <i>Sterilizer</i> (m)

$\eta_{\text{sterilizer}}$ = efisiensi sterilizer
 ΔU = perubahan energi dalam (Joule)
 m = massa uap (kg)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik kelapa sawit yang mengubah tandan buah (TBS) menjadi minyak sawit mentah (CPO) dan inti sawit sebagai produk antara dalam proses industri, jadi salah satu faktor penentu keberhasilan dalam ekspansi sektor perkebunan kelapa sawit. dapat diproses menjadi berbagai komoditas akhir, termasuk dalam bentuk makanan dan non-makanan. Pabrik kelapa sawit terdiri dari unit pemrosesan yang menggunakan berbagai pendekatan mekanis, fisik, dan kimia. Unit perebusan (sterilizer) merupakan unit yang sangat penting dalam proses produksi karena berfungsi sebagai landasan untuk operasi selanjutnya di unit berikutnya. M.Pardamean (2008).

Pengolahan tandan buah segar di pabrik kelapa sawit secara alami berfungsi untuk menghasilkan minyak sawit berkualitas tinggi. Salah satu faktor penentu kualitas minyak sawit yang harus diperhatikan adalah kandungan asam lemak bebasnya yang rendah. Pada unit pemasakan, enzim lipase dinonaktifkan untuk menghentikan hidrolisis asam lemak menjadi asam lemak bebas, sehingga asam lemak dalam jumlah besar tidak terbentuk pada produk.

Dalam proses selanjutnya, faktor-faktor berikut harus benar-benar dioptimalkan. Faktor-faktor tersebut antara lain suhu, tekanan, dan waktu perebusan, yang merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses selanjutnya seperti pemukulan dan pengepresan. Faktor-faktor tersebut juga memiliki pengaruh yang kuat terhadap kehilangan (loss) minyak dari buah sawit. Oleh karena itu, suhu yang telah ditentukan, tekanan yang telah ditentukan dan waktu perebusan digunakan untuk menghilangkan kehilangan minyak.

Perebusan dilakukan dengan menggunakan sistem dua puncak dengan karena itu, suhu yang telah ditentukan, tekanan yang telah ditentukan dan waktu perebusan digunakan untuk menghilangkan kehilangan minyak.

Perebusan dilakukan dengan menggunakan sistem dua puncak dengan tekanan 2,8-3,0 kg/cm² pada suhu 130-140 °C selama 90-100 menit. Tekanan dididih, suhu, dan durasi semuanya dapat diatur untuk mencegah kehilangan minyak atau

serat yang berlebihan pada tandan kosong, yang dapat mengakibatkan kerugian pada pabrik kelapa sawit. Sulit untuk menghilangkan kehilangan karena kehilangan minyak, terutama dalam air kondensat. Akibatnya, tindakan lebih lanjut dilakukan, selain penghilangan, untuk mengekstrak atau kehilangan minyak dalam kondensat dengan mengubah tekanan, suhu, dan waktu didih. Standar yang diakui untuk kehilangan kondensasi udara adalah 0,50. Dengan mengidentifikasi tekanan dan waktu yang tepat untuk digunakan selama perebusan, perusahaan mengurangi kehilangan minyak. Akibatnya, kerugian dari perebusan tanaman akan diminimalkan semaksimal mungkin. L. Masruroh (2021)

Peneliti tertarik untuk mengadakan penelitian mengenai masalah kehilangan panas dalam hal pengolahan CPO dengan mengusulkan waktu, tekanan, dan suhu perebusan yang ada di PT. Perkebunan Nusantara IV Pagar ADOLINA. Untuk itu penulis mengambil judul Tugas Akhir. Analisis Penyebab Terjadinya Kehilangan Panas (Heat Loss) Pada Sterilizer Kapasitas 25 Ton/Jam Di Pks Ptpn Iv Adolina yang akan membahas tentang Kehilangan Panas dan pengaruh Efisiensi Thermal terhadap Sterilizer.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat beberapa permasalahan yang akan dihadapi dalam penelitian ini, yaitu:

1. Berapa nilai koefisien perpindahan panas Konveksi pada dinding dan tutup Sterilizer?
2. Berapa total Kehilangan panas pada Sterilizer yang terjadi di dinding dan tutup Sterilizer?
3. Berapa nilai Efisiensi Thermal yang terjadi pada Sterilizer?

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian merupakan cakupan kajian dalam sebuah penelitian. Adapun ruang lingkup penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Tempat dan waktu penelitian ini dilakukan di PKS PTPN IV ADOLINA Dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, Penelitian ini di laksanakan pada tanggal 22 sampai dengan tanggal 26 Januari 2024, pukul 08:30-12:00 WIB selama 5 hari.

2. Bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah dengan menggunakan alat Safety valve, Manometer, Rototherm Recorder dan Thermo gun.
3. Peralatan yang digunakan saat penelitian analisis kehilangan panas ini merupakan alat bantu yang digunakan untuk mengukur uap panas atau uap Steam guna untuk mendapatkan hasil kehilangan panas pada sterilizer. Safety valve merupakan katub yang akan terbuka sendiri jika tekanan sudah melebihi batas yang ditentukan. Manometer merupakan indikator yang berfungsi menunjuk besar kecilnya tekanan yang terdapat pada sterilizer. Rototherm Recorder juga merupakan alat pengukur standart yang akurat dan Thermo gun merupakan alat untuk mengukur suhu yang sulit di jangkau oleh tangan manusia karena letaknya yang berbahaya untuk di dekati.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis nilai koefisien perpindahan panas konveksi
2. Menganalisis Total kehilangan panas yang terjadi pada sterilizer.
3. Menganalisis nilai Efisiensi Thermal.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini dikerjakan beberapa manfaat yaitu

1. Penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi pihak manajemen pabrik sebagai informasi lebih lanjut dalam pengambilan keputusan dalam perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan terhadap produksi CPO.
2. Diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan pemahaman tentang pengaruh kualitas CPO

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) merupakan tumbuhan tropis golongan plasma yang termasuk tanaman tahunan. Tanaman kelapa sawit berasal dari negara Afrika Barat. Tanaman ini dapat tumbuh subur di Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Papua Nugini. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

Minyak kelapa sawit diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit. Secara garis besar buah kelapa terdiri dari serabut buah (pericarp) dan inti (kernel). Serabut buah kelapa sawit terdiri dari tiga lapis yaitu mesocarp atau pulp dan lapisan paling dalam disebut endocarp. Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (testa), endosperm dan embrio. Mesocarp mengandung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (kernel) mengandung minyak sebesar 44%, dan endocarp tidak mengandung minyak. Y.E. Yan Fauzi (2012).



Gambar 2. 1. Tanaman Kelapa Sawit

Standar mutu minyak kelapa sawit dapat dibedakan menjadi dua arti, pertama, benar-benar murni dan tidak bercampur dengan minyak nabati lain. Mutu minyak kelapa sawit tersebut dapat ditentukan dengan menilai sifat-sifat fisiknya, yaitu dengan mengukur titik lebur angka penyabunan dan bilangan yodium. Kedua, pengertian mutu sawit berdasarkan ukuran. Dalam hal ini syarat mutu diukur berdasarkan spesifikasi standar mutu internasional yang meliputi ALB, Air, Kotoran, Logam besi, Logam tembaga, Peroksida, dan ukuran pemucatan. Kebutuhan mutu minyak kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan baku industri pangan dan non pangan masing-masing berbeda. Oleh karena itu keaslian,

kemurnian, kesegaran, maupun aspek higienisnya harus lebih diperhatikan. Rendahnya mutu minyak kelapa sawit sangat ditentukan oleh banyak factor, Faktor-faktor tersebut dapat langsung dari sifat induk pohonnya, penanganan pascapanen, atau kesalahan selama pemrosesan dan pengangkutan.

Kelapa sawit memiliki banyak jenis, berdasarkan ketebalan cangkangnya kelapa sawit dibagi menjadi, Dura, Tenera dan Psipera. Dura merupakan sawit yang buahnya memiliki cangkang tebal sehingga dianggap memperpendek umur II-2 mesin pengolah namun biasanya tandan buahnya besar-besar dan kandungan minyak pertandannya berkisar 18%. Psipera buahnya tidak memiliki cangkang namun bunga betina steril sehingga sangat jarang menghasilkan buah. Tenera adalah persilangan antara induk Dura dan Psipera. Jenis ini dianggap bibit unggul sebab melengkapi kekurangan masing-masing induk dengan sifat cangkang buah tipis namun bunga betinanya tetap fertil. Beberapa tenera unggul persentase daging perbuahnya dapat mencapai 90% dan kandungan minyak pertandannya dapat mencapai 28%.

Penilaian buah Sawit dapat dibagi dalam beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Sangat mentah : 1-12,5 % buah luar atau 0-1 berondolan/kg tandan membrondol Mentah
2. Matang : 12,5-25% buah luar atau 2 berondolan/kg tandan 25 % dari buah luar membrondol
3. Kurang matang : 25-50 % buah luar membrondol Matang 3 50-75 % buah luar membrondol Matang
4. Lewat matang : 75-100% buah luar membrondol Lewat matang (ranum) 5 100 % buah luar membrondol dan sebagian berbau busuk Lewat matang (busuk).

2.2 Stasiun Sterilizer

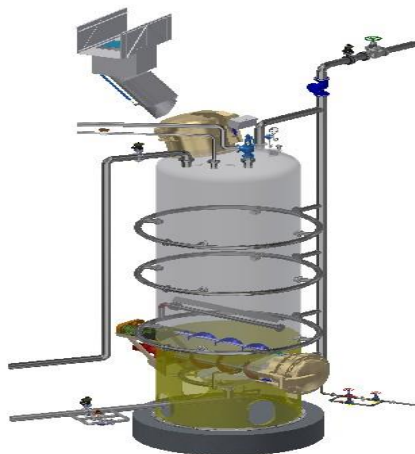
Sterilizer adalah suatu bejana uap bertekanan, yang fungsinya merebus Tandan Buah Segar (TBS) dengan memakai media pemanas. Media pemanas yang di pergunakan adalah uap basah (*steam*) yang berasal dari sisa pembuangan turbin uap yang bertekanan sekitar 2,8–3,0 kg/cm² dan temperatur 140 °C dengan waktu perebusan 90 menit T.Sitepu (2011). Seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Stasiun Sterilizer

2.2.1 Sterilizer vertikal.

Sterilizer vertikal berbentuk silinder dengan muatan 2–6 ton TBS. Buah diisi melalui pintu atas dan dikeluarkan melalui pintu pengeluaran sebelah sisi depan bawah. Pada bagian Sterilizer dialasi dengan plat berlubang yang di pasang menurun kearah pintu sehingga memudahkan untuk mengeluarkan isinya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Sterilizer Vertikal.

Sterilizer tipe tegak (vertikal) mempunyai kelemahan yakni :

- a. Kapasitas rebusan sangat kecil, karena alat besar membutuhkan ruangan yang cukup tinggi. Kapasitas rebusan rata-rata 5 ton TBS.
- b. Bejana memuat buah yang diisi dengan menggunakan bunch elevator, sehingga buah mengalami tingkat kelukaan yang tinggi selama proses transportasi, sebagai salah satu penyebab kenaikan asam lemak bebas yang tinggi.

Teknik pengoperasian yang lebih sulit dan membutuhkan tenaga yang lebih banyak terutama pada saat menutup dan membuka serta mengeluarkan buah dari dalam yang dilakukan secara manual. Akibat kelemahan tersebut maka alat ini tidak lagi dikembangkan, atau tidak sesuai dengan kebutuhan usaha pengembangan kelapa sawit yang memerlukan kapasitas olah tinggi.

2.2.2 Sterilizer horizontal

Sterilizer horizontal berbentuk silinder yang dipasang mendatar, ditumpu sesuai panjangnya. Sterilizer horizontal ada yang berpintu satu dan ada yang berpintu dua. Sterilizer ini di isi dengan tandan buah yang di masukan kedalam lori.



Lori ini ada yang berkapasitas 1,5 ton dan 2,5 ton TBS. Seperti terlihat pada gambar 2.4.

Gambar 2. 4. Sterilizer Horizontal

Sterilizer horizontal dapat dimuati 8 hingga 10 lori untuk satu kali perebusan. Sterilizer tipe horizontal yang merupakan bejana horizontal memiliki keuntungan antara lain :

- a. Kapasitas *sterilizer* antara 15–30 ton TBS.
- b. Pengoperasian lebih mudah dan praktis.
- c. Buah tidak bersinggungan langsung dengan dinding, sehingga bahan olah tidak mungkin menyebabkan bejana menjadi korosi. Buah diisi ke dalam lori dengan kapasitas 2,5 ; 3,5 dan 5,0 ton TBS.
- d. Pengisian uap masuk dan pembuangan uap keluar serta pembuangan air kondensat lebih mudah dilakukan (Naibaho, 1996).

Dalam tahap ini terdapat tiga cara perebusan TBS yaitu :

- a. Sistem satu puncak (*Single Peak*) adalah sistem perebusan yang mempunyai

satu puncak akibat tindakan pembuangan dan pemasukan uap yang tidak merubah bentuk pola perebusan selama proses perebusan satu siklus selama proses perebusan satu siklus.

- b. Sistem dua puncak adalah jumlah puncak yang terbentuk selama proses perebusan berjumlah dua puncak akibat tindakan pembuangan uap dan pemasukan uap kemudian dilanjutkan dengan pemasukan, penahanan dan pembuangan uap selama perebusan satu siklus.
- c. Sistem tiga puncak adalah jumlah puncak yang terbentuk selama perebusan berjumlah tiga sebagai akibat dari tindakan pemasukan uap, pembuangan uap, dilanjutkan dengan pemasukan uap, penahanan dan pembuangan uap selama proses perebusan satu siklus. Perebusan dengan sistem 3 *peak* (tiga puncak tekanan).

Di PKS PTPN IV ADOLINA ini 3 bejana sterilizer namum yang beroperasi hanya 2 buah. Kapasitas tabung yaitu 10 lori dalam satu tabung dengan suhu 130-140°C, tekanan normal 2,6 kg/cm², tekanan maksimum 3 kg/cm². Perebusan tekanan lebih dari 3kg/cm² maka masa perebusan di kurangi waktunya menjadi 90 menit.

Di PKS PTPN IV ADOLINA ini sistem perebusan yang digunakan yaitu sistem dua puncak (Double Peak Sterilization).

Keterangan Proses Perebusan :

- a. Masukkan steam untuk buang udara dingin : ± 5 menit
 - b. Masukkan steam hingga P = 0 bar menuju puncak pertama P = 2,0 bar : ± 13 menit
 - c. Buang steam puncak pertama hingga P = 0 : ± 3 menit
 - d. Masukkan kembali steam hingga ke puncak II (P = 2.5 bar) : ± 15 menit
 - e. Tahan tekanan steam pada tekanan (P = 2.5 bar) : ± 45 menit
 - f. Buang air kondensat rebusan : ± 2 menit
 - g. Buang steam hingga tekanan P = 0 bar : ± 8 menit
- = 90 menit

Pada proses perebusan dalam 1 kali tahapan perebusan, sistem yang digunakan dalam proses ini yaitu triple peak atau 3 puncak, artinya pemberian uap kondensat di lakukan sebanyak 3 kali, dalam artian Peak itu adalah (puncak) pada

proses perebusan sterilizer.

Tujuan dari perebusan atau seterilisasi dari tandan buah segar adalah :

- a. Melunakan buah agar daging buah mudah lepas dari biji dan untuk memudahkan pelepasan minyak dari sel – selnya pada waktu pemerasan di dalam digester.
- b. Menghentikan aktifitas enzim lipase yang menguraikan minyak menjadi asam lemak bebas dan menghentikan kegiatan hidrolisa yang sudah terjadi.
- c. Memudahkan pelepasan buah dari tandan pada waktu proses penebahan.
- d. Mengkoagulasi zat – zat albumin agar tidak terikut dengan cairan kempa, karena dapat menyebabkan campuran minyak dan air menjadi emulsi yang menyulitkan pemisahan minyak pada stasiun klarifikasi.
- e. Mengurangi kadar air dalam buah.

Adapun hal – hal yang perlu di perhatikan dalam perebusan adalah :

- a. Tekanan uap dan lamanya perebusan
- b. Standar proses minyak
 1. Air rebusan : 0.3– 0.6%
 2. Tankos : 1.5 – 2.1 %
- a. Pembuangan udara dan air kondensat. Udara yang ada dalam rebusan harus di keluarkan karena menurunkan tekanan (panas tidak sempurna). Cara pengeluaran ini disebut dearasi, dengan cara membuka penuh kran kondensat selama 5 – 10 menit.
- b. Pembersihan seluruh brondolan dan sampah-sampah yang jatuh dalam rebusan yang dapat menyumbat aliran air pada pipa pipa kondensat atau pipa udara.

2.3 Boiler

Ketel uap (boiler) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana,



Seperti terlihat ketel uap ini yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya), sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar. pada gambar 2.5.

Gambar 2. 5. Stasiun Boiler.

Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu :

- a. Furnace (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- b. Steam Drum yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam (energi panas). Boiler pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklasifikasikan ketel steam tergantung kepada sudut pandang masing – masing. Syarat - syarat boiler yang ideal, yaitu:
 - 1) Dapat menghasilkan jumlah uap yang maksimum dengan jumlah bahan bakar yang minimum.
 - 2) Kapasitas uap dan tekanan kerja harus konstan.
 - 3) Perangkat pembakaran mampu membakar unsur-unsur bahan bakar secara sempurna sehingga di dapat hasil yang optimal.
 - 4) Sirkulasi air harus baik agar diperoleh suhu yang merata pada seluruh bagian ketel, maka penyerapan kalor oleh air lebih efektif.
 - 5) Konstruksi ketel sederhana, sehingga biaya pembuatan, operasi dan perawatan lebih ekonomis dan hemat tempat.
 - 6) Alat-alat perlengkapan ketel harus berfungsi dengan baik sehingga ketel

dapat beroperasi dengan baik dan aman.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan evaluasi dari produk boiler berdasarkan nilai emisi gas buang yang mencemari lingkungan, maka berikut klasifikasi boiler berdasarkan fluida yang mengalir, yaitu:

- a. Fire tube boiler (ketel pipa api) Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa –pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa –pipa api tersebut. Pipa - pipa api berada atau terendam didalam air yang akan diuapkan. Volume air kira – kira $\frac{3}{4}$ dari tangki ketel. Jumlah pass dari boiler tergantung dari jumlah laluan vertikal dari pembakaran diantara furnace dan pipa –pipa api. Laluan gas pembakaran pada furnace dihitung sebagai pass pertama boiler jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah.
- b. Tekanan uap yang dihasilkan rendah. Kapasitas uap yang dihasilkan kecil. Water tube boiler (ketel pipa air) Pada Ketel pipa air seperti tampak pada Gambar 3, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga listrik. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket.

Sistem boiler terdiri dari:

- a. Sistem Air Umpan
Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan.
- b. Sistem Steam
Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi steam

disebut air.

2.4 *Steam* (Uap)

Steam atau uap adalah gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan *steam* adalah air bersih. Air dari *water treatment* yang telah diproses di alirkan menggunakan pompa ke *daerator tank* hingga pada level yang telah ditentukan. Untuk merubah air menjadi air yang berbentuk fasa cair ke fasa gas (uap), energi panas ditambahkan untuk menaikkan temperatur yang bisa disebut dengan *sensible heat* atau panas sensibel. Ketika perubahan air menjadi uap mulai berjalan, temperaturnya tidak akan berubah lagi dengan penambahan panas. Energi panas yang diberikan untuk merubah fasa cair menjadi fasa gas dengan temperatur tetap disebut dengan *laten heat* dari penguapan.

Untuk kebutuhan *steam* (uap) bagi *Sterilizer*, pada PKS PTPN IV ADOLINA menggunakan uap basah sebagai media pemanas guna perebusan tandan buah segar. Uap untuk kebutuhan perebusan harus disesuaikan dengan kemampuan *boiler* memproduksi uap, dengan sasaran bahwa tujuan perebusan dapat tercapai. Penyaluran uap ke dalam *Sterilizer* pada pabrik kelapa sawit yang lazim dikenal adalah *single peak system*, *double peak system*, dan *triple peak system*. Semakin tinggi tekanan perebusan, akan semakin cepat pula waktu perebusan. Tekanan yang tinggi dengan sendirinya memberikan temperatur yang tinggi. Temperatur yang terlalu tinggi dapat merusak kualitas minyak dan inti sawit (Harisandi, 2009).

2.5 Panas

Panas adalah suatu bentuk energi yang dipindahkan melalui batas sistem yang ada pada suatu temperatur yang lebih tinggi ke sistem lain atau lingkungan yang mempunyai temperatur yang lebih rendah, karena adanya perbedaan temperatur. Semua benda dalam kondisi yang tepat yaitu pada tekanan dan suhu yang sesuai akan bentuk padat, cairan dan gas. Eksistensi energi pada molekul suatu benda ditunjukkan dengan suhu benda tersebut. Dengan kata lain penambahan atau pengurangan panas dapat merubah bentuk benda serta suhu benda tersebut. Sebagai contoh logam akan mencair jika diberi panas yang cukup untuk mencairkannya.

Fenomena yang umum kita kenal adalah mencairnya es dan mendidihnya air. Kedua kondisi tersebut adalah salah satu contoh penambahan dan pengurangan panas terhadap suatu benda. Energi panas selalu berpindah dari sistem panas ke sistem dingin. Akibat perpindahan energi panas tersebut, molekul-molekul panas sistem bersuhu tinggi akan kehilangan energi kinetik dan suhunya akan lebih kecil. Pada kondisi seperti ini terjadi kesetimbangan termal dan suhu kedua benda akan sama. Secara induktif, semakin besar kenaikan suhu benda, semakin besar pula panas yang diserap.

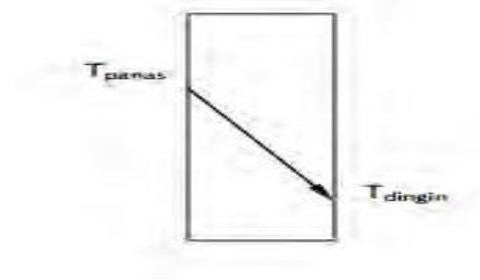
Panas merupakan faktor ekstensif yang artinya bergantung pada jumlah zat, sedangkan suhu/temperatur merupakan faktor intensif yang tidak tergantung pada jumlah zat. Besar jumlah atau kuantitas panas biasanya bersimbol Q dan tergantung pada jumlah zat, jenis zat dan banyaknya zat. Ketiga faktor ini digabungkan menjadi satu kapasitas panas. Satuan SI untuk panas ialah Joule. Satuan lain untuk panas adalah kalori ($1 \text{ Joule} = 0,239 \text{ kalori}$). Panas sangat dibutuhkan terutama pada proses pengolahan TBS, dimana panas yang berupa *steam* tersebut akan di alirkan ke *Sterilizer* untuk dilakukan perebusan TBS.

2.6 Perpindahan Panas

Proses Perpindahan Kalor merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. S.Iskandar(2014) . Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada tugas akhir ini hanya menjelaskan perpindahan konduksi dan konveksi saja, untuk perpindahan panas secara radiasi tidak dijelaskan.

2.6.1 Perpindahan Panas secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi ialah dimana proses perpindahan panas terjadi antara benda atau partikel partikel yang berkontak langsung, melekat satu dengan yang lainnya tidak ada pergerakan relative di antara benda benda tersebut. Ini berlangsung karena energi panas disalurkan melalui getaran dan tinda tangan termal partikel atau molekul dalam benda, yang merambat dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin tanpa perpindahan fisik benda itu sendiri Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Perpindahan Panas Konduksi.

Arah aliran energi kalor adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Perpindahan panas konduksi dan difusi energi akibat aktivitas molekul sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor sama sepenuhnya. Dengan demikian,umpamanya seorang tukang hembus kaca dapat memegang suatubarang kaca, yang beberapa cm lebih jauh dari tempat pegangan itu adalah demikian panasnya, sehingga bentuknya dapat berubah. Akan tetapi seorang pandai tempa harus memegang benda yang akan ditempa dengan sebuah tang. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat, untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil(Siregar & Lubis, 2020).

Persamaan umum yang biasa digunakan dalam perpindahan panas dengan cara konduksi adalah dapat di jelaskan dengan rumus yang tercantum di bawah ini:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

q = Laju Panas (W)

k = Konduktivitas termal ($W/m^{\circ}C$)

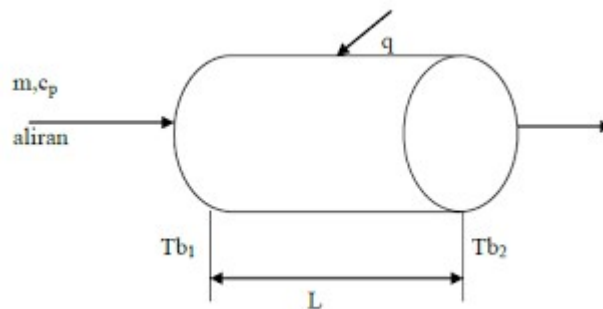
dT = Perbedaan suhu ($^{\circ}C$)

dX = Perbedaan panjang / jarak (m)

A = Luas permukaan (m^2)

2.6.2 Perpindahan Panas secara Konveksi.

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak. Begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7. Perpindahan Panas Konveksi.

Jenis-jenis perpindahan panas Konveksi:

Jenis Perpindahan Panas Konveksi Menurut keadaan alirannya perpindahan panas secara konveksi dikategorikan menjadi dua yaitu:

- Konveksi bebas yang mana aliran fluida disebabkan oleh adanya variasi masa jenis yang selalu diikuti dengan adanya perbedaan temperatur dalam fluida.
- Konveksi paksa yang mana aliran disebabkan oleh beberapa cara yang berasal dari luar. Misalnya dari fan, pompa, ataupun tiupan angin.

Hal Yang Diperhatikan Dalam Perpindahan Konveksi Perpindahan panas konveksi sebagai perpindahan energi terjadi dalam fluida akibat dari efek kombinasi dari konduksi dan pergerakan kasar fluida. Adapun energi yang dipindahkan adalah energi dalam fluida. Begitu pula dengan konveksi sebagai

pertukaran panas latent yang dihubungkan dengan perubahan fase antara keadaan cairan dan uap fluida. Dengan memperhatikan kondisi aliran fluida tanpa melihat cara perpindahan panas konveksi.

Laju perpindahan panas konveksi secara didapat dengan menggunakan (hukum) newton, yaitu :

$$q = hA (T_s - T) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

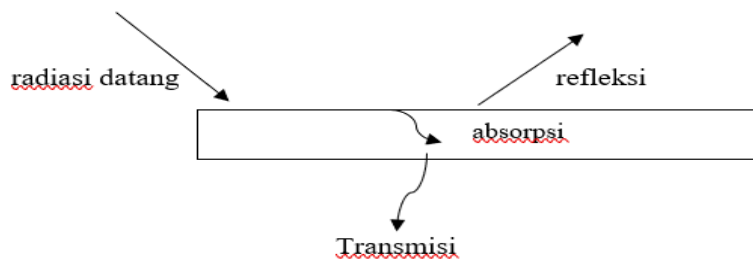
q = Laju perpindahan panas, (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2C)

A = Luasan penampang (m^2)

T_s = Temperatur permukaan dinding ($^{\circ}C$)

T = Temperatur rata rata fluida($^{\circ}C$)



Gambar 2. 8. Perpindahan Panas Radiasi.

Energi pancaran atau energi radiasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan hukum Stefan-Blotzmann sebagai berikut :

$$q_r = \epsilon \cdot AT^4 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

q_r = Laju Perpindahan Radiasi (W) A = Luas Penampang (m^2)

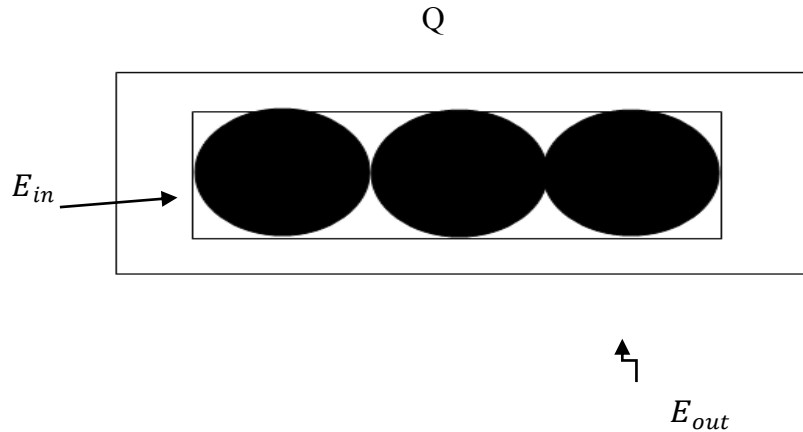
T = Temperatur absolut dari permukaan (\square)

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann($5,6703 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)

2.7 Kestimbangan Energi

Dari gambar 2.9. dapat diketahui bahwa ada energi masuk sistem berupa uap yang diinjeksikan ke dalam *sterilizer* yang nantinya akan diserap oleh kelapa sawit. Sedangkan untuk energi yang keluar berupa *heat loss* yang melalui dinding sterilizer dan energi yang dibawa oleh kondensat. Sehingga persamaan

kesetimbangan energi sebagai berikut:



Gambar 2. 9. Kesenjangan energy pada sterilizer

$$\Delta U = E_{in} - E_{out} \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta U = E_{uap} - (E_{kondensat} + Q_{loss}) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

ΔU = Perubahan energi dalam (Joule)

E_{in} = Energi *thermal* masuk sistem (Joule)

E_{out} = Energi *thermal* keluar sistem (Joule)

Q_{loss} = Panas yang hilang melalui dinding sterilizer (Joule)

E_{uap} = Energi uap yang masuk *sterilizer* (Joule)

$E_{kondensat}$ = Energi yang dibawa oleh kondensat (Joule)

a. Energi Input kedalam Sterilizer

Energi yang masuk ke dalam sterilizer berasal dari uap yang diinjeksikan dari *back pressure vessel*. Kemudian energi termal uap tersebut diserap oleh kelapa sawit. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$E_{in} = E_{uap} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

E_{uap} = Energi Termal yang dibawa oleh uap air (Joule)

$muap$ = Massa uap (kg)

$huap$ = Enthalpy uap (kj/kg)

Dengan mengasumsikan bahwa tidak ada kebocoran pada lori dan semua celah dalam sterilizer diisi oleh uap dengan tekanan dan suhu yang seragam

maka =

$\rho_{uap} \times$ dengan

$$Vuap = Vsterilizer - Vlori \dots \dots \dots (8)$$

2.8 Kondensasi

Kondensasi adalah proses dimana perubahan wujud dari gas menjadi cair. Kondensasi, juga disebut pengembunan dan kebalikan dari penguapan atau proses penguapan. Misalnya, jika gelas dengan tutup gelas diisi dengan air panas, tutup gelas yang digunakan secara bertahap akan mengembun. Kondensasi terjadi ketika uap mendingin menjadi cairan.

Kondensasi yang terjadi di dalam sterilizer diasumsikan kondensasi film. Kondensasi film adalah proses yang terjadi apabila cairan membasahi permukaan dimana sebuah smooth film terbentuk. Kondensasi atau pengembunan adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi (yaitu, tekanan ditingkatkan) menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat. Sebuah alat yang digunakan untuk mengkondensasi uap menjadi cairan disebut kondenser. Kondenser umumnya adalah sebuah pendingin atau penukar panas yang digunakan untuk berbagai tujuan, memiliki rancangan yang bervariasi, dan banyak ukurannya dari yang dapat digenggam sampai yang sangat besar. R.B.Joni Hermana (2011).



Gambar 2. 10. Kondensasi Film pada Plat Vertikal

Adapun cara untuk menghitung nilai koefisien konveksi *steam* (h_i) dan koefisien konveksi udara luar (h_o) yaitu :

a. Menghitung nilai koefisien konveksi steam (h_i).

1) Menghitung Jacob Number

$$Ja = \frac{C_{p_l}(T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

Ja : *Jacob Number*

C_p : Kalor spesifik (J/kg.K)

T_{sat} : Temperatur saturasi/*steam* (K)

T_s : Temperatur permukaan plat (K)

H_{fg} : Entalpi Kondensasi (kJ/kg)

2) Menghitung *Modified Latent Heat*

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 Ja) \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

h'_{fg} : *Modified latent heat* (kJ/kg)

h_{fg} : Entalpi Kondensasi (kJ/kg)

Ja : *Jacob Number*

3) Menghitung parameter tak berdimensi

$$P = \frac{k_l L (T_{sat} - T_s)}{\mu h_{fg} (v^2/g)^{1/3}} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

P : Parameter tak berdimensi

k_l : Konduktivitas *thermal liquid* (W/m.K)

L : Panjang plat (m)

T_{sat} : Temperatur saturasi/*steam*(K)

T_s : Temperatur permukaan plat (K)

μ : Viskositas(Ns/m²)

h_{fg} : Entalpi Kondensasi (kJ/kg)

v : Viskositas kinematik (m/s²)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

4) Menghitung *Nusselt Number*.

$$Nu = \frac{1}{P} [(0,024 P - 53) Pr^{1/2} + 89]^{4/3} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

- Nu : Nusselt Number
- P : Parameter tak berdimensi P
- Pr : Prandtl Number

5) Menghitung Koefisien Konveksi.

$$h_i = \frac{Nu \cdot k_l}{(v^2/g)^{1/3}} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :

- h_i : Koefisien konveksi steam (W/m².K)
- Nu : *Nusselt Number*
- k_l : Konduktivitas *thermal liquid* (W/m.K)
- v : Viskositas kinematik (m/s²)
- g : Percepatan gravitasi (m/s²)

6) Menghitung nilai koefisien konveksi udara (h_o).

a) Menghitung *Rayleigh Number*.

$$Ra = \frac{g \beta (T_s - T_{udara}) D^3}{v \alpha} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

- Ra : *Rayleigh Number*
- g : Percepatan gravitasi (m/s²)
- T_s : Temperatur permukaan plat (K)
- T_{udara} : Temperatur udara luar sekitaran dinding Sterilizer (K)
- α : Penyerapan panas (m²/s)
- v : Viskositas kinematik (m/s²)

b) Menghitung *Nusselt Number*.

$$Nu = [0,60 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0,559 / Pr)^{9/16}]^{8/27}}]^{1/4} \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan :

- Nu: *Nusselt Number*

Ra : *Rayleigh Number*

Pr : *Prandtl number*

- c) Menghitung Koevisien Konveksi Udara.

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{D} \dots\dots\dots(16)$$

H_o : Koevisien konveksi udara (W/m².K)

Nu : *Nusselt Number*

k : Konduktivitas (W/m.K)

D : Diameter dalam *Sterilizer* (m)

2.9. Konduktivitas Termal (Daya Hantar Panas)

Konduktivitas termal adalah sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat bahan itu dapat menghantarkan panas konduksi. Pada umumnya nilai k dianggap tetap, namun sebenarnya nilai k dipengaruhi oleh suhu (T). Konduktor merupakan bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik, contohnya logam. Sedangkan isolator merupakan bahan yang mempunyai konduktivitas yang buruk, contohnya asbes(et al., 2018).

Konduktivitas kalor yang teliti dari benda padat harus didapatkan melalui pengukuran langsung (eksperimental). Hal ini mengingat banyaknya faktor yang susah diukur atau diperkirakan. Dalam benda berongga, konduktivitas kalor sangat tergantung dari fraksi rongga, ukuran rongga dan fluida yang terdapat di dalam rongga. Pada umumnya, logam adalah konduktor kalor yang lebih baik dari nonlogam dan material kristal menghantar kalor lebih baik dari material *amorphous*. Bahan zat padat berongga yang kering (*dry porous*) adalah sangat sulit menghantarkan kalor sehingga sangat cocok untuk isolasi kalor. C.Soekardi (2015).

2.9.1 Proses Kehilangan Panas.

- a. Kehilangan Panas.

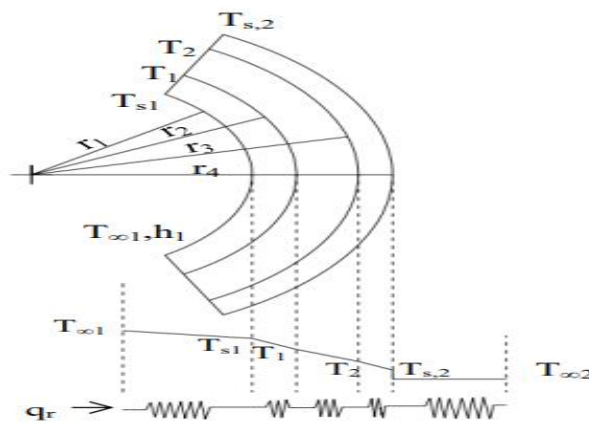
Perhitungan kehilangan panas dapat dihitung dengan mengetahui bentuk dari suatu alat. Bentuk dari suatu alat tersebut dapat berupa silinder dan persegi.

- b. Pada Alat berbentuk Silinder.

Perhitungan kehilangan panas pada alat berbentuk silinder dengan

mengetahui diameter dalam dan diameter luar. Adapun alat yang berbentuk silinder misalnya seperti *Sterilizer*. Dimana dengan mengetahui diameter dari alat tersebut maka dapat diketahui jari jari dalam dan jari jari luar. Serta nilai hambatan termal (tahanan termal). Tahanan termal dihitung untuk mendapatkan kehilangan panas yang terjadi di dalam *Sterilizer*.

Pada alat *Sterilizer* yang digunakan, dinding *Sterilizer* dilapisi dengan dua bahan isolator yang berfungsi untuk meminimalisir kehilangan panas yang akan terjadi melalui dinding *Sterilizer*. Pada alat yang berbentuk silinder tidak diperhitungkan luas dari alat tersebut, yang diperhitungkan hanya panjang dari alat tersebut. I.Y.Awalya (2020)



Gambar 2. 11. Lapisan Dinding Sterilizer

Sehingga untuk perhitungan kehilangan panas melalui dinding *Sterilizer* dapat digunakan rumus berdasarkan hukum *Fourier* :

$$\frac{Q_{\text{losses}}}{l} = \frac{2 \pi (\Delta T)}{\sum R} \dots\dots(17)$$

Dimana ΔT merupakan temperatur *steam* dikurang dengan temperatur udara luar *Sterilizer*, sehingga rumus dapat dilihat sebagai berikut :

$$\frac{Q_{\text{losses}}}{l} = \frac{2 \pi (T_{\text{steam}} - T_{\text{udara}})}{\sum R} \dots\dots(18)$$

R_{th} atau $\sum R$ merupakan total hambatan termal yang terjadi pada proses kehilangan panas melalui dinding *Sterilizer* dengan rumus yang dapat dilihat sebagai berikut :

$$R_{th} = \sum R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan :

Q_{losses} = Panas yang hilang melalui dinding *Sterilizer* (kJ)

L = Panjang *Sterilizer* (m)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C ke K)

T_{steam} = Temperatur *steam* per peak perebusan (°C ke K)

T_{udara} = Temperatur udara luar (°C ke K)

$\sum R$ = Jumlah hambatan termal dari dinding *Sterilizer* (m.K/W)

h_i = Koefisien konveksi *steam* (W/m².K)

h_o = Koefisien konveksi udara luar (W/m².K)

k_1 = Konduktivitas termal lapisan 1 (W/m.K)

k_2 = Konduktivitas termal lapisan 2 (W/m.K)

k_3 = Konduktivitas termal lapisan 3 (W/m.K)

r_1 = Jari-jari dalam *Sterilizer* (m)

r_2 = Jari-jari luar *Sterilizer* (m)

r_3 = jari-jari lapisan 1 (m)

r_4 = Jari-jari lapisan 2 (m)

r_5 = Jari-jari lapisan 3 (m)

c. Pada Alat Berbentuk Persegi

Perhitungan kehilangan panas pada alat berbentuk persegi, tidak memperhitungkan panjang dari suatu alat tersebut melainkan memperhitungkan luas dari alat tersebut.

Sehingga untuk perhitungan kehilangan panas pada alat berbentuk persegi dapat digunakan rumus berdasarkan hukum *Fourier* :

$$\frac{Q_{losses}}{A} = \frac{2 \pi (\Delta T)}{\sum R} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana ΔT merupakan temperatur di dalam alat dikurang dengan temperatur udara luar, sehingga rumus dapat dilihat sebagai berikut :

$$\frac{Q_{losses}}{A} = \frac{2 \pi (T_{dalam} - T_{udara})}{\sum R} \dots\dots\dots (21)$$

R_{th} atau $\sum R$ merupakan total hambatan termal yang terjadi pada proses kehilangan panas

$$R_{th} = \sum R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_o \dots\dots\dots$$

Sehingga secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{losses} = \frac{2 \pi (T_{dalam} - T_{udara})}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta X_p}{k_{plat}} + \frac{\Delta X_1}{k_1} + \frac{\Delta X_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots$$

Penjelasan :

- Q_{losses} = Panas yang hilang (kJ)
- A = Luas alat (m^2)
- ΔT = Perbedaan temperature ($^{\circ}C$ ke K)
- T_{dalam} = Temperatur di dalam alat ($^{\circ}C$ ke K)
- T_{udara} = Temperatur udara luar ($^{\circ}C$ ke K)
- $\sum R$ = Jumlah hambatan termal dari alat ($m.K/W$)
- h_i = Koefisien konveksi steam ($W/m^2.K$)
- h_o = Koefisien konveksi udara luar ($W/m^2.K$)
- k_1 = Konduktivitas termal lapisan 1 ($W/m.K$)
- k_2 = Konduktivitas termal lapisan 2 ($W/m.K$)
- X_1 = Tebal lapisan 1 (m)
- X_2 = Tebal lapisan 2 (m)

d. Kehilangan Panas Melalui Tutup *Sterilizer*

Panas yang hilang melalui tutup sterilizer dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{losses} = \frac{(T_{steam} - T_{udara})}{\frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{t}{k_{plat} \cdot A} + \frac{1}{h_o \cdot A}} \dots\dots\dots (24)$$

Penjelasan :

- Q_{losses} = Panas yang hilang melalui tutup *Sterilizer* (kJ)
- A = Luas tutup *Sterilizer* (m)
- T_{steam} = Temperatur *steam* per peak perebusan ($^{\circ}C$ ke K)
- T_{udara} = Temperatur udara luar ($^{\circ}C$ ke K)
- k_{plat} = Konduktivitas termal plat ($W/m.K$)
- t = tebal plat tutup *Sterilizer* (m)
- h_i = Koefisien konveksi *steam* ($W/m^2.K$)
- h_o = Koefisien konveksi udara luar ($W/m^2.K$)



Gambar 2. 12. Tutup Sterilizer

2.10. Efisiensi Termal

Efisiensi Termal Efisiensi termal yaitu perbandingan energi yang bermanfaat untuk merebus kelapa sawit (bahan baku) dengan energi yang masuk, dan bisa juga Dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. H.T.N.d.R.A.Stephanie (2018). Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$\eta_{sterilizer} = \frac{E_{used}}{E_{in}} = \frac{\Delta U}{(m \times h)_{uap}} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

$\eta_{sterilizer}$ = efisiensi sterilizer

E_{in} = energi thermal masuk sistem (Joule)

E_{used} = energi yang dimanfaatkan untuk merebus kelapa sawit (Joule)

ΔU = perubahan energi dalam (Joule)

m = massa uap (kg)

h = enthalpy uap (kj/kg)

2.11. Kajian Penelitian Yang Relevan

Kajian Penelitian yang relevan ditulis oleh Dian Hidayati yang berjudul Analisis Termal Pada Sterilizer Crude Palm Oil Di PT Boma Bisma Indra Pada Tahun 2016, Hasil penelitian tersebut Pada pabrik pengolahan kelapa sawit terdapat sterilizer yang berfungsi untuk merebus atau memasak tandan buah segar (TBS) dengan uap (*steam*). Uap yang digunakan adalah uap jenuh dengan tekanan 1,5–3

bar yang diinjeksikan dari *back pressure vessel* (BPV). Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka efisiensi produksi dari CPO yang dihasilkan mungkin tidak mampu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI 01- 2901-2006. Proses perebusan dilakukan dengan sistem 3 puncak (*triple peak*) dimana puncak pertama dan kedua bertujuan untuk memberikan tekanan kejut sehingga buah lepas dari tandan serta membuang udara di rebusan agar suhu yang ditetapkan tercapai. Hasil yang didapatkan dari analisis termal pada *Sterilizer Crude Palm Oil* di PT. Boma Bisma Indra yaitu efisiensi termal, *losses*, perubahan energi dalam dan transient conduction. Efisiensi termal tertinggi terdapat pada *peak* I sebesar 0,846277. *Losses* terendah di *peak* III sebesar 51,765 kJ. D.Hidayati (2016)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Adolina Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Berdagai, Sumatra utara, dan Laboratorium fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Penelitian ini dimulai dari 3 bulan setelah dilaksanakannya seminar proposal. Dalam jangka waktu itu sudah cukup untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menganalisis dan untuk mendapatkan hasil dari penulisan tugas akhir ini.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul						
2	Studi literatur						
3	Penulisan Proposal						
4	Seminar Proposal						
5	Pengumpulan data						
6	Analisis data dan penulisan data						
7	Seminar hasil						
8	Sidang sarjana						

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

- a. Safety valve (Katup Pengaman).

Katup yang akan terbuka sendiri apabila tekanan sudah melebihi dari batas yang ditentukan adalah Safety Valve. Safety valve terletak di masing-masing

drum rebusan dan juga pada kran induk. Safety Valve ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1. Safety Valve

b. Manometer.

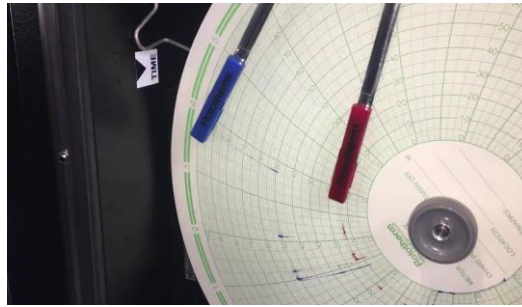
Indikator yang berfungsi sebagai penunjuk besar- kecilnya tekanan yang terdapat pada sterilizer adalah Manometer. Manometer terdapat pada masing-masing drum rebusan dan juga pada kran induk. Seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 2. Manometer

c. Rototherm Recorder

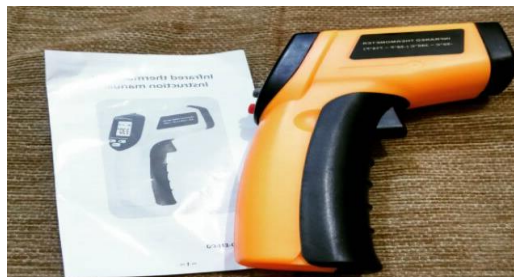
Rototherm recorder telah menjadi standar pengukuran yang akurat dan dapat diandalkan di industri pabrik, salah satu industri yang menggunakan rototherm recorder adalah pabrik kelapa sawit. Rototherm digunakan sebagai alat pengukur tekanan uap yang masuk pada rebusan. Rototherm menggambarkan uap yang masuk ketika merebus dalam bentuk grafik. Apabila steam yang masuk tidak tercapai dapat dilihat pada rototherm recorder tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 3. Grafik Rototherm

d. Thermo gun

Thermo gun adalah untuk mengukur suhu yang sulit dijangkau oleh tangan manusia karena letaknya yang berbahaya untuk didekati dan bisa dijelaskan juga Thermogun merupakan alat pengukuran suhu yang dilakukan tanpa menyentuh objek yang diukur. Direktur Standar Nasional Satuan Ukuran Termoelektrik dan Kimia Badan Standardisasi Nasional (BSN), Ghufron Zaid menjelaskan, sebenarnya ada dua jenis thermo gun yang beredar di masyarakat, yaitu thermo gun klinik untuk mengukur suhu tubuh manusia dan thermo gun industri.. Seperti pada gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3. 4. Thermo Gun

3.2.2 Bahan

a. Sterilizer

Sterilizer adalah bejana uap bertekanan yang digunakan untuk merebus buah kelapa sawit. Perebusan Buah Sawit di Sterilizer pabrik kelapa sawit (Rebusan Uap) mempunyai beberapa tujuan dan tahapan supaya dapat diperoleh hasil yang terbaik dan sesuai spesifikasi (standard yang ditetapkan). Dan jika proses perebusan

berjalan dengan baik dan sempurna, maka losses (kehilangan minyak pabrik sawit) dapat dikurangi.

Adapun tujuan dari perebusan yaitu:

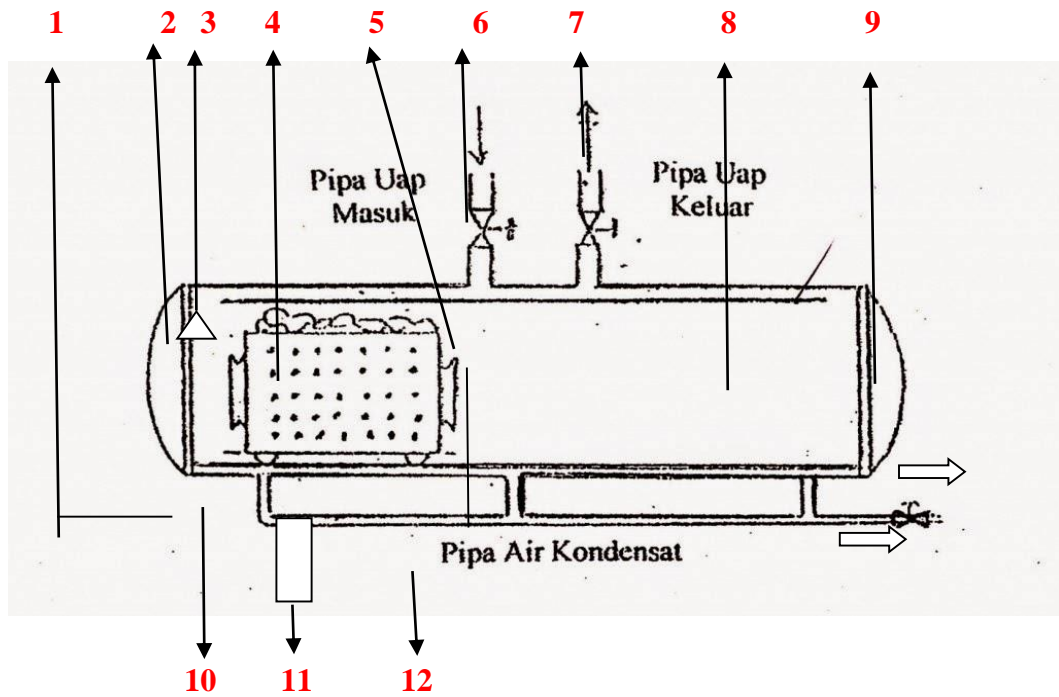
- a. Mempermudah pelepasan brondolan buah sawit dari tandan buah segar (TBS)
- b. Menghilangkan enzim penghasil asam lemak bebas (ALB) atau Free Fatty Acid (FFA)
- c. Mempermudah proses pelepasan inti sawit (kernel) dari cangkangnya
- d. dehidrasi buah untuk membantu proses digesting/ pelumatan (di mesin digester) dan pengepressan di mesin screw press serta mengurangi kadar air pada brondolan sawit.
- e. Untuk membantu proses pemecahan emulsi
- f. Supaya serat (fibre) dan biji (nut) mudah terlepas.

Rebusan yang kita bahas dalam laporan tugas akhir ini adalah bejana uap silindris horizontal dengan pintu pada kedua ujungnya (ukuran pintu rebusan horizontal ini bervariasi, ada ukuran diameter 2100 mm, 2700mm, 2800mm dan 3200mm), dimana lori buah sawit ini dimasukkan dari salah satu pintu (ujung rebusan sawit) dan mengeluarkannya dari pintu lainnya (ujung rebusan sawit lainnya), setelah itu dilakukan proses perebusan / sterilisasi dengan menggunakan uap (steam) dari Back Pressure Vessel (BPV). Dan Temperatur uap pada pipa inlet sekitar 130-135 °C sedangkan temperatur dalam rebusan sawit (sterilizer) 135 °C.

Adapun manfaat teknologi sterilisasi sawit yaitu.

Selain itu, juga untuk memudahkan proses pengambilan minyak dan inti sawit dari buah sawit. Dewasa ini, teknologi untuk proses sterilisasi mengalami perkembangan yang cukup signifikan.

Seperti yang terlihat pada gambar 3.5 di bawah ini dan Spesifikasi sterilizer dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini.



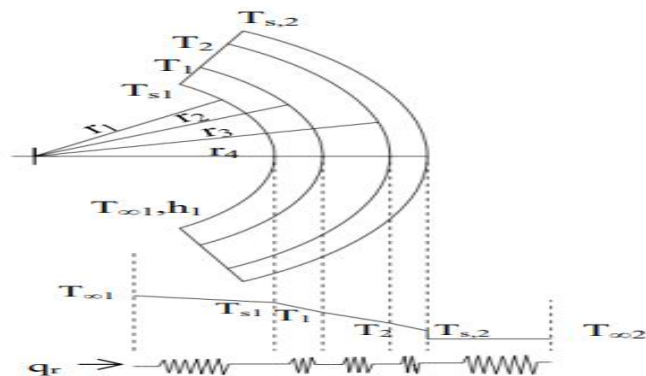
Gambar 3. 5. Sterilizer.

Keterangan Gambar:

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Rail Track Pintu | 7. Safety Valve |
| 2. Pintu Pemasukan Lori | 8. Ketel Rebusan |
| 3. Manometer | 9. Pintu Keluaran Lori |
| 4. Lori | 10. Rail Track didalam Rebusan |
| 5. Pipa Pemasukan Uap | 11. Pondasi (Kaki Rebusan) |
| 6. Pipa Pengeluaran Uap | 12. Pipa Pembuangan Air Kondensat |

b. Dinding Sterilizer

Dinding sterilizer merupakan bahan penelitian saya yang akan saya analisis heat loss (kehilangan panas) dengan menganalisis dari setiap lapisan yang terdapat pada dinding sterilizer tersebut, guna untuk mendapatkan nilai yang spesifik seperti pada gambar 3.6 di bawah ini



Gambar 3. 6. Dinding Sterilizer

Dibagian dinding sterilizer terdapat 3 lapisan yaitu di antara nya:

- Lapisan 1 berbahan (*stainliss steel*) dengan ketebalan 9 mm
- Lapisan 2 berbahan(*rockwool*) dengan ketebalan 50 mm
- Lapisan 3 berbahan(*alumunium*) dengan ketebalan 1 mm

c. Tutup Sterilizer

Tutup sterilizer ini juga merupakan suatu komponen yang ada pada bagian dari bejana sterilizer,dan juga merupakan bahan yang akan saya analisis kehilangan panas nya (Heat loss) seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7. Tutup Sterilizer

Tabel 3. 2. Spesifikasi Stasiun Sterilizer Horizontal

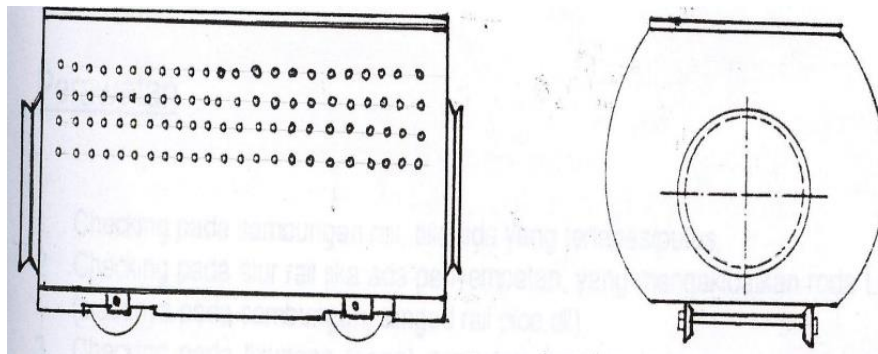
Komponen	Spesifikasi
Merk	Mulinda Raya Sejati
Bentuk/Model	Horizontal
Diameter Luar (m)	2,1

Diameter Dalam (m)	2,05
Panjang Plat (m)	27,3
Tebal Plat (m)	0,05
Kapasitas Produksi (kg)	25000
Tekanan Kerja (kPa)	350
Temperatur Kerja °C	130° - 135
Waktu Perebusan (s)	90 - 110
Tahun Pembuatan	2008
<i>Made in</i>	Indonesia

Sumber : PT. Perkebunan Nusantara IV PKS ADOLINA

d. Lori Sterilizer

Lori adalah alat untuk menampung kelapa sawit yang digunakan untuk merebus buah di dalam Sterilizer. Seperti yang terlihat pada gambar 3.8 di bawah ini dan spesifikasi lori dapat di lihat pada tabel 3.3



Gambar 3. 8. Lori Sterilizer

Tabel 3. 3. Spesifikasi lori Sterilizer

Komponen	Spesifikasi
Panjang (m)	2,5
Lebar (m)	1,5

e. Sumber data

Sumber data pada penelitian dilaksanakan di PKS PTPN IV Adolina adalah . Data primer berupa data yang diperoleh langsung dari penelitian yang diambil di perusahaan. Data dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 3. 4. Data Penelitian PKS Adolina

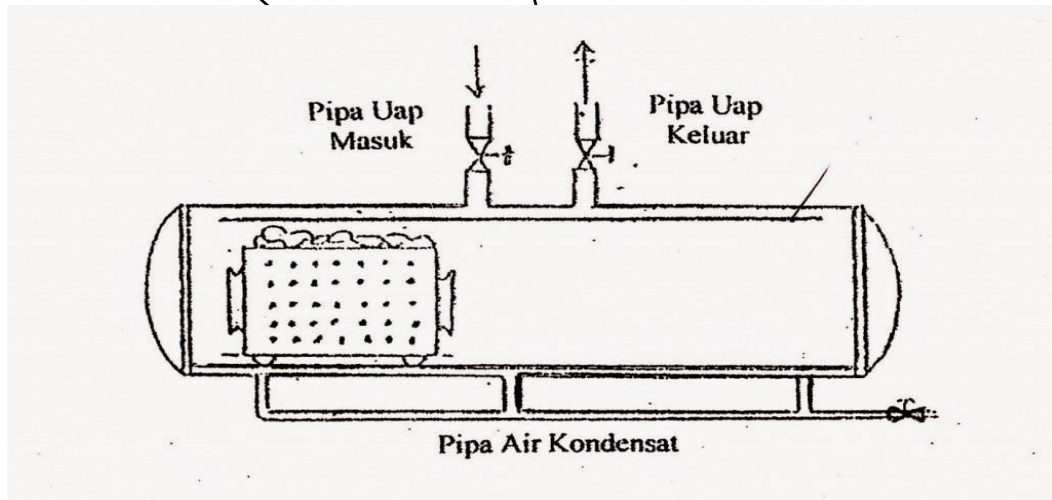
No.	Hari, Tanggal	Waktu	Temperatur Uap Masuk (°C)		Temperatur Pemukaan (°C)		Temperatur Udara Luar (°C)		Temperatur Uap Keluar (°C)	
			Puncak (kPa)		Puncak (kPa)		Puncak (kPa)		Puncak (kPa)	
			I (200)	II (250)	I (200)	II (250)	I (200)	II (200)	I (0)	II (0)
1.	Rabu, 13	09.00	114	128	37	52	31	32	100	120
	Desember 2023	11.00	112	129	36	52	31	32	99	124
		13.00	113	128	38	51	30	31	101	122
2.	Kamis, 14	09.00	113	128	38	52	32	32	99	132
	Desember 2023	11.00	113	127	36	52	32	32	101	124
		13.00	113	128	37	53	30	33	100	120
	Rata- Rata		113	128	37	52	31	32	100	122

Sumber : PT. Perkebunan Nusantara IV Adolina.

f. Experimental set up

Jadi dalam penelitian saya kali ini ada beberapa komponen yang akan saya analisis di bagian bejana sterilizer tersebut untuk mendapatkan nilai kehilangan panas (heat loss), yaitu pada dinding dan tutup sterilizer, berikut merupakan gambar sterilizer untuk menggambarkan sebuah temperatur steam yang terjadi pada strilizer tersebut agar memperjelas dalam menganalisis kehilangan panas yang terjadi pada sterilizer untuk mendapatkan hasil yang akurat. mungkin dapat di lihat pada gambar 3.9 di bawah ini

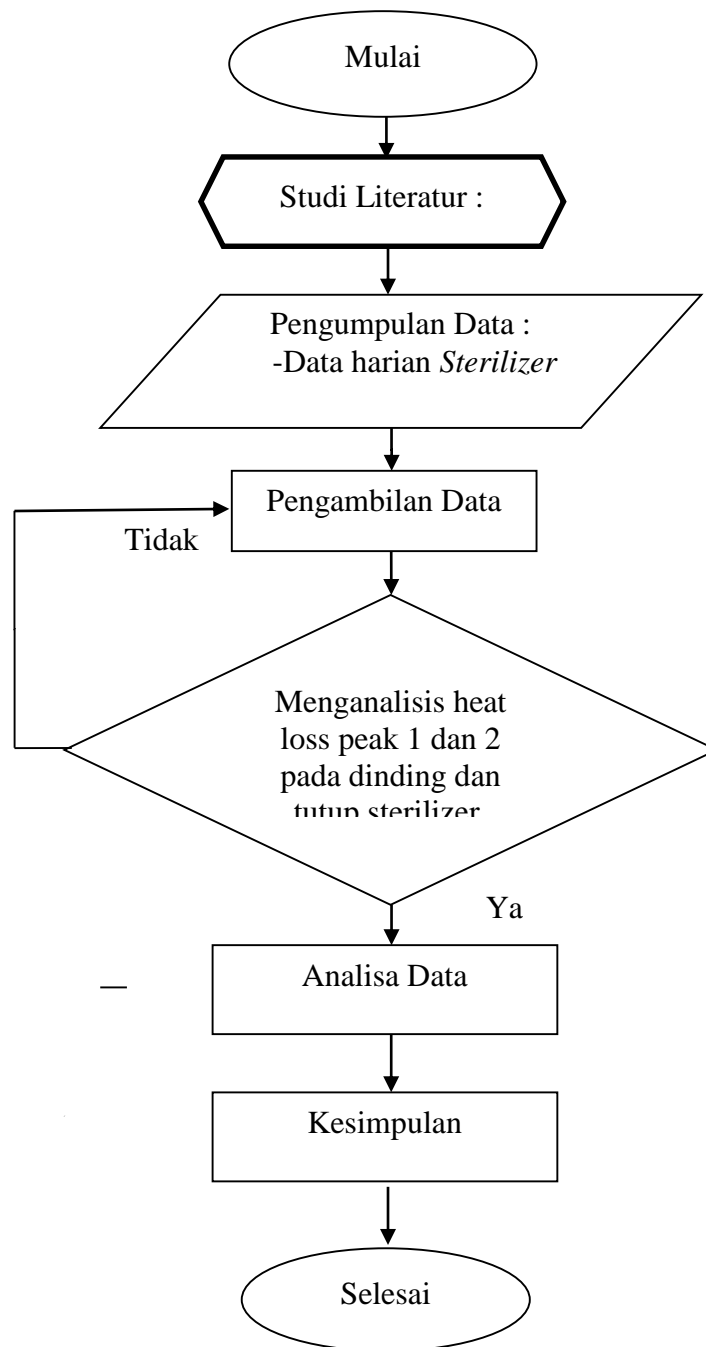
(T_{sat}) temperatur steam Temperatur permukaan plat



Gambar 3. 9. Experimental set up sterilizer.

3.3 Bagan Alir Penelitian

Adapun proses alir penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 10. Bagan Alir Penelitian

3.4 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan selama di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Adolina pada unit perebusan dilakukan dengan metode penelitian sebagai

berikut :

- a. Melakukan pengamatan langsung ke lapangan dan orientasi pabrik guna memperoleh informasi dan data yang diperlukan sehubungan dengan permasalahan yang akan dibahas.
- b. Melakukan diskusi dengan pembimbing lapangan untuk memperoleh data mengenai kondisi operasi.
- c. Mempelajari teori ilmiah yang berkaitan dengan alat *Sterilizer* dan perpindahan panas.
- d. Mencatat data-data yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas, antara lain:
- e. Spesifikasi peralatan Sterilizer Spesifikasi peralatan Sterilizer diperoleh dari data teknis perencanaan bejana uap Sterilizer di PKS Adolina.
- f. Data operasi *Sterilizer* meliputi tekanan, temperatur steam, temperatur dinding, dan temperatur udara luar. Tekanan yang digunakan diamati melalui Pressure Gauge pada Sterilizer, temperatur steam diamati melalui Temperature Gauge pada Sterilizer, temperatur dinding diamati menggunakan termometer infrared, dan temperatur udara luar diamati menggunakan termometer ruang.
- g. Melakukan pembahasan terhadap masalah dengan menggunakan data-data yang diperoleh.

3.5 Variabel yang akan di teliti.

Pada penelitian kali ini, variabel yang akan diteliti adalah sebagai berikut.

- a. Menghitung nilai koefisien perpindahan panas konveksi.
- b. Menghitung total kehilangan panas yang terjadi pada sterilizer.
- c. Mengetahui penyebab terjadinya kehilangan panas pada sterilizer.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang telah dilakukan selama kurun waktu 5 hari dengan rentang waktu pengambilan data mulai pukul 08.30 – 12.00 WIB pada proses terjadinya kehilangan panas pada sterilizer dengan menganalisa nilai kehilangan panas sebagai berikut :

4.1.1 Energi masuk Sterilizer

Energi yang masuk kedalam sterilizer merupakan uap yang berasal dari back pressure vessel yang memiliki tekanan 3 bar dan temperature 135°C

a. Peak 1

1) Menghitung volume Sterilizer, Lori dan Tandan buah segar

$$V_{sterilizer} = \frac{\pi}{4} \times D_{in}^2 \times L = \frac{\pi}{4} \times (4,2025 \text{ m}^2) \times 27,30 \text{ m} = 90,10 \text{ m}^3$$

$$V_{lori} = A_{lori} \times L$$

$$A_{lori} = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2}{2}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{4} \times 1,5^2}{2}$$

$$= \frac{1,76 \text{ m}^2}{2}$$

$$= 0,88 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m}$$

$$= 2,2 \text{ m}^3$$

Untuk mengisi sisa volume yang ada di sterilizer maka

$$V_{lori} \times 10_{lori} = 2,2 \text{ m}^3 \times 10$$

$$= 22 \text{ m}^3$$

2) Menghitung massa uap pada sterilizer

Massa uap dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_{uap} = \rho_{uap} \times V$$

$$\text{Dengan } V = V_{sterilizer} - V_{lori}$$

$$V = 90,10 \text{ m}^3 - 22 \text{ m}^3 = 68,1 \text{ m}^3$$

Dan pada P = 2,0 bar dari tabel Lampiran 1 didapatkan $\rho_{uap} = 1,12 \text{ kg/m}^3$

Dan pada P = 3,0 bar dan T = 135°C dari tabel Lampiran 2 didapat

$h_{uap} = 2724,7 \text{ kJ/kg}$, maka massa uap diperoleh sebagai berikut :

$$m_{uap} = 1,12 \text{ kg/m}^3 \times 68,1 \text{ m}^3 = 76,27 \text{ kg}$$

Setelah menghitung massa uap, energi masuk dapat diperoleh sebagai berikut :

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap} = 76,27 \text{ kg} \times 2724,7 \text{ kJ/kg} = 207812,869 \text{ kJ}$$

b. Peak II

1) Menghitung volume Sterilizer, Lori dan Tandan buah segar

$$V_{sterilizer} = \frac{\pi}{4} \times D_{in}^2 \times L = \frac{\pi}{4} \times (4,2025 \text{ m}^2) \times 27,30 \text{ m} = 90,10 \text{ m}^3$$

$$V_{lori} = A_{lori} \times L$$

$$A_{lori} = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2}{2}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{4} \times 1,5^2}{2}$$

$$= \frac{1,76 \text{ m}^2}{2}$$

$$= 0,88 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m}$$

$$= 2,2 \text{ m}^3$$

Untuk mengisi sisa volume yang ada di sterilizer maka

$$\begin{aligned} V_{lori} \times 10_{lori} &= 2,2 \text{ m}^3 \times 10 \\ &= 22 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Menghitung massa uap pada sterilizer

Massa uap dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_{uap} = \rho_{uap} \times V$$

$$\text{Dengan } V_{uap} = V_{sterilizer} - V_{lori}$$

$$V_{uap} = 90,10 \text{ m}^3 - 22 \text{ m}^3 = 68,1 \text{ m}^3$$

Dan pada P = 2,5 bar dari tabel Lampiran 1 didapatkan $\rho_{uap} = 1,39 \text{ kg/m}^3$

Dan pada P = 3,0 bar dan T = 135°C dari tabel Lampiran 2 didapat

$h_{uap} = 2724,7 \text{ kJ/kg}$, maka massa uap diperoleh sebagai berikut :

$$m_{uap} = 1,39 \text{ kg/m}^3 \times 68,1 \text{ m}^3 = 94,65 \text{ kg}$$

Setelah menghitung massa uap, energi masuk dapat diperoleh sebagai berikut :

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap} = 94,65 \text{ kg} \times 2724,7 \text{ kJ/kg} = 257892,855 \text{ kJ}$$

4.1.2 Energi keluar Sterilizer

Energi yang keluar dari *Sterilizer* berasal dari kondensat. Uap yang ada di dalam sterilizer mengalami kondensasi sehingga massa uap sama dengan massa kondensat karena tidak mengalami perubahan massa.

Energi yang keluar dari *sterilizer* data dihitung sebagai berikut :

$$E_{out} = m_{kondensat} \times h_{kondensat}$$

Dengan *enthalpy* kondensat diperoleh dari tabel A.3 pada temperature 100°C sebesar 2258,990 kJ/kg karena kondensat dibuang ke atmosfer. Sehingga yang keluar dari *sterilizer* sebagai berikut :

a. Peak 1

$$\begin{aligned} E_{out} &= 76,27 \text{ kg} \times 2258,990 \text{ kJ/kg} \\ &= 172293,167 \text{ kJ} \end{aligned}$$

b. Peak 2

$$\begin{aligned} E_{out} &= 94,65 \text{ kg} \times 2727,153 \text{ kJ/kg} \\ &= 213813,403 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan Perpindahan Panas Konveksi

Untuk mencari data perhitungan perpindahan panas konveksi dilakukan dengan cara sebagai berikut

Data dan Perhitungan Koefisien Konveksi Steam (h_i) dan Koefisien Konveksi Udara (h_o)

Data perhitungan berdasarkan temperature pada tiap peak dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 1. Data Berdasarkan Temperatur Pada Setiap Puncak

Peak	T_{sat} (°C)	T_{sat} (K)	T_s (°C)	T_s (K)	T_{udara} (°C)	T_{udara} (K)	ρ_v (kg/m ³)	h_{fg} (kJ/kg)	h_{fg} (J/kg)
I	113	386	37	310	31	304	0,914	2221,9	2221900
II	128	401	52	325	33	305	1,421	2179,8	2179800

Perhitungan Koefisien Konveksi *Steam* (h_i)

Dengan menggunakan Temperatur film $T_f = \frac{(T_{sat}+T_s)}{2}$, maka data perhitungan Koefisien Konveksi steam dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 2. Data Menghitung Koefisien Konveksi Steam Pada Setiap Puncak

Puncak	T_f (°C)	T_f (K)	ρ_v	μ_1 (N.s/m) $\times 10^{-3}$	K_1 (W/m.K)	Cp_1 (J/kg.K)	ν (m ² /s) $\times 10^{-5}$	Pr_1
I	75	348	0,2421	0,378	0,667	4193	1,561	2,38
II	90	363	0,4295	0,315	0,675	4206	0,733	1,96

Pada Puncak Pertama

a. Menghitung *Jacob Number*

Jacob Number dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Ja &= \frac{Cp_1(T_{sat}-T_s)}{h_{fg}} \\ &= \frac{4193\text{J/kg.K}(386-310)\text{K}}{2221900\text{J/kg}} \\ &= 0,143421 \end{aligned}$$

b. Menghitung *Modified Latent Heat*

$$\begin{aligned} h'_{fg} &= h_{fg} (1 + 0,68 Ja) \\ &= 2221,9\text{ kJ/kg} (1 + 0,68(0,143321)) \\ &= 2438,5936\text{ kJ/kg} = 2438593,6\text{ J/Kg} \end{aligned}$$

c. Menghitung Parameter Tak Berdimensi

Karena ketebalan kondensasi tidak diketahui, maka dapat menggunakan Parameter P untuk mengganti *Reynolds Number* sebagai berikut :

$$P = \frac{k_1 L (T_{sat} - T_s)}{\mu_1 h'_{fg} \left(\frac{v_1^2}{g}\right)^{1/3}}$$

$$= \frac{0,667 \text{ W/m.K} \times 3,220 \text{ m} \times (386 - 310) \text{ K}}{0,378 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} \times 2438593,6 \text{ J/kg} \times \left(\frac{(1,561 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2)}{9,81 \text{ m}}\right)^{1/3}}$$

$$= 606,901$$

Dimana L :

$$L = \pi \frac{D_{dalam}}{2} = 3,14 \times \frac{2,100 \text{ m}}{2} = 3,220 \text{ m}$$

d. Menghitung *Nusselt Number*

Karena pada puncak pertama merupakan kondensasi laminar dengan nilai $P \leq 2530$, maka untuk menghitung *Nusselt Number* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Nu = \frac{1}{P} [(0,024 P - 53) Pr_1^{1/2} + 89]^{4/3}$$

$$= \frac{1}{606,901} [(0,024(606,901) - 53) 2,38^{1/2} + 89]^{4/3}$$

$$= 0,151593$$

e. Menghitung koefisien konveksi

$$h_i = \frac{Nu k_1}{(v_1^2/g)^{1/3}}$$

$$= \frac{0,151593 \times 0,667 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}{\left(\frac{1,561 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2}\right)^{1/3}}$$

$$= 346,544 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Pada puncak kedua

a. Menghitung *Jacob Number*

Jacob Number dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ja = \frac{Cp_1 (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}}$$

$$= \frac{4206 \text{ J/kg.K} (401 - 325) \text{ K}}{2179800 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$= 0,146644$$

b. Menghitung *Modified Latent Heat*

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 Ja)$$

$$= 2179,8 \text{ kJ/kg} (1 + 0,68 (0,146644))$$

$$= 2397,1651 \text{ kJ/kg} = 2397165,1 \text{ J/kg}$$

c. Menghitung Parameter Tak Berdimensi

Karena ketebalan kondensasi tidak diketahui, maka dapat menggunakan Parameter P untuk mengganti *Reynolds Number* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{k_1 L (T_{\text{sat}} - T_s)}{\mu_1 h'_{fg} \left(\frac{v_1^2}{g} \right)^{1/3}} \\
 &= \frac{0,675 \text{ W/m.K} \times 3,220 \text{ m} \times (401 - 325) \text{ K}}{0,315 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} \times 2397165,1 \text{ J/kg} \times \left(\frac{(0,733 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})}{9,81 \text{ m}} \right)} \\
 &= 1241,038
 \end{aligned}$$

Dimana L:

$$L = \pi \frac{D_{\text{dalam}}}{2} = 3,14 \times \frac{2,100 \text{ m}}{2} = 3,220 \text{ m}$$

d. Menghitung *Nusselt Number*

Karena pada puncak pertama merupakan kondensasi 66aminar dengan nilai $P \leq 2530$, maka untuk menghitung *Nusselt Number* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Nu &= \frac{1}{P} [(0,024 P - 53) Pr^{1/2} + 89]^{4/3} \\
 &= \frac{1}{1241,038} [(0,024 (1241,038) - 53) 1,98^{1/2} + 89]^{4/3} \\
 &= 0,174008
 \end{aligned}$$

e. Menghitung Koefisien konveksi

$$\begin{aligned}
 h_i &= \frac{Nu k_1}{(v_1^2/g)^{1/3}} \\
 &= \frac{0,174008 \times 0,675 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}{\left(\frac{(0,733 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2)}{9,81 \text{ m/s}^2} \right)^{1/3}} \\
 &= 658,438 \text{ W/m}^2.\text{K}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Perhitungan Korfisien Konveksi Udara (ho)

Untuk mencari $T_f = \frac{(T_s + T_{\text{udara}})}{2}$, maka data perhitungan Koefisien Konveksi udara dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 3. Data Menghitung Koefisien Konveksi udara Pada Setiap Puncak

Puncak	T_f (°C)	T_r (K)	C_p (J/kg.K)	k (W/m.K)	α (m ² /s)	β (K ⁻¹)	ν (m ² /s) x 10 ⁻⁵	Pr
I	34	307	1007	0,026176	2,217	3,257	1,645	0,7260
II	42	315	1007	0,026768	2,374	3,174	1,721	0,7260

Pada puncak pertama

a. Menghitung *Rayleigh Number*

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{g \beta (T_s - T_{udara}) D^3}{\nu \alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,003257 K^{-1} \times (310 - 304) K (2,1 m)^3}{1,645 \times 10^{-5} m^2/s \times 2,217 \times 10^{-5} m^2/s} \\ &= 0,486 \times 10^{10} \end{aligned}$$

b. Menghitung *Nusselt Number*

Karena nilai *Rayleigh Number* yang didapat adalah turbulen dengan $Ra \leq 10^{12}$ sehingga untuk mencari *Nusselt Number* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Nu &= \left[0,60 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 \\ &= \left[0,60 + \frac{0,387 (0,486 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,7280}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 \\ &= 191,776 \end{aligned}$$

c. Menghitung koefisien konveksi udara

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{Nu k}{D} \\ &= \frac{191,776 \times 0,026176 \frac{W}{m.K}}{2,1 m} \\ &= 2,390 W/m^2.K \end{aligned}$$

Pada Puncak Kedua

a. Menghitung *Rayleigh Number*

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{g \beta (T_s - T_{udara}) D^3}{\nu \alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,003174 K^{-1} \times (325 - 304) K (2,1 m)^3}{1,721 \times 10^{-5} m^2/s \times 2,374 \times 10^{-5} m^2/s} \\ &= 1,411 \times 10^{10} \end{aligned}$$

b. Menghitung *Nusselt Number*

Karena nilai *Rayleigh Number* yang didapat adalah turbulen dengan $Ra \leq 10^{12}$ sehingga untuk mencari *Nusselt Number* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Nu &= \left[0,60 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 \\ &= \left[0,60 + \frac{0,387 (1,411 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,7260}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 \\ &= 269,629 \end{aligned}$$

c. Menghitung koefisien konveksi udara

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{Nu k}{D} \\ &= \frac{269,629 \times 0,026768 \frac{W}{m \cdot K}}{2,1 m} \\ &= 3,436 W/m^2 \cdot K \end{aligned}$$

4.1.5 Perhitungan Kehilangan Panas Melalui Dinding *Sterilizer* pada Puncak

Pertama

a. Menghitung nilai diameter dan jari-jari

Pada plat *sterilizer* memiliki diameter dalam (D_1 atau D_{in}) dan diameter luar (D_2 atau D_{out}), diameter pada lapisan pertama (D_3), diameter pada lapisan kedua (D_4), dan diameter pada lapisan ketiga (D_5) sehingga dapat diperoleh nilainya sebagai berikut :

$$D_{in} = D_1 = 2050 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 2,05 \text{ m}$$

$$D_{out} = D_2 = 2100 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 2,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} D_3 &= D_3 + \Delta X_1 = 2,1 \text{ m} + 0,009 \text{ m} \\ &= 2,109 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_4 &= D_4 + \Delta X_2 = 2,109 \text{ m} + 0,05 \text{ m} \\ &= 2,159 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_5 &= D_5 + \Delta X_3 = 2,159 \text{ m} + 0,001 \text{ m} \\ &= 2,160 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Menghitung nilai jari-jari

Setelah menghitung nilai diameter dapat diperoleh jari-jari pada plat *sterilizer*

bagian dalam (r_1 atau r_{in}) dan jari-jari pada plat *sterilizer* bagian luar (r_2 atau r_{out}), jari-jari pada lapisan pertama (r_3), jari-jari pada lapisan kedua (r_4), dan jari-jari pada lapisan ketiga (r_5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 r_{in} = r_1 &= \frac{1}{2} \times D_1 & r_{out} = r_2 &= \frac{1}{2} \times D_2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,05 \text{ m} & &= \frac{1}{2} \times 2,1 \text{ m} \\
 &= 1,025 \text{ m} & &= 1,05 \text{ m} \\
 r_3 &= \frac{1}{2} \times D_3 & r_4 &= \frac{1}{2} \times D_4 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,109 \text{ m} & &= \frac{1}{2} \times 2,159 \text{ m} \\
 &= 1,054 \text{ m} & &= 1,079 \text{ m} \\
 r_5 &= \frac{1}{2} \times D_5 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2,160 \text{ m} = 1,08 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Menghitung nilai besar hambatan termal

Untuk menghitung nilai hambatan termal yang terjadi pada saat proses perebusan pada puncak pertama dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$R_{th} = \sum R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o$$

Keterangan

$\sum R$ = jumlah hambatan termal dari dinding *sterilizer* (m.K/W)

R_i = hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat *sterilizer* (m.K/W)

R_p = hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat *sterilizer* (m.K/W)

R_1 = hambatan termal dari dinding luar plat *sterilizer* ke tebal lapisan 1 (*stainless steel*) (m.K/W)

R_2 = hambatan termal dari tebal lapisan 1 (*stainless steel*) ke tebal lapisan 2 (*rockwool*) (m.K/W)

R_3 = hambatan termal dari tebal lapisan 2 (*rockwool*) ke tebal lapisan 3 (*aluminium*) (m.K/W)

R_o = hambatan termal dari tebal lapisan 3 (*aluminium*) ke udara (m.K/W)

a. Hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat *sterilizer*

$$\begin{aligned}
 R_i &= \frac{1}{h_i \times r_1} \\
 &= \frac{1}{346,544 \frac{W}{m^2} \times 1,025 \text{ m}} \\
 &= 2,815 \times 10^{-3} \text{ m.K/W}
 \end{aligned}$$

- b. Hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat *sterilizer*

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{\text{plat}}} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{1,05 \text{ m}}{1,025 \text{ m}}\right)}{52 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \\ &= 4,634 \times 10^{-4} \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

- c. Hambatan termal dari dinding luar plat *sterilizer* ke tebal lapisan 1 (stainless steel)

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_1} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{1,054 \text{ m}}{1,05 \text{ m}}\right)}{16,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \\ &= 2,347 \times 10^{-4} \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

- d. Hambatan termal dari tebal lapisan 1 *stainless pain* ke tebal lapisan 2 (rockwool)

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_2} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{1,079 \text{ m}}{1,054 \text{ m}}\right)}{0,048 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \\ &= 0,488 \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

- e. Hambatan termal dari tebal lapisan 2 (rockwool) ke tebal lapisan 3 (aluminium)

$$\begin{aligned} R_3 &= \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{k_3} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{1,08 \text{ m}}{1,079 \text{ m}}\right)}{1237 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \\ &= 3,908 \times 10^{-6} \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

- f. Hambatan termal dari tebal lapisan 3 ke udara

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{1}{h_o \times r_5} \\ &= \frac{1}{2,390 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 1,08 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$= 0,387 \text{ m.K/W}$$

Total nilai besar hambatan termal :

$$\begin{aligned} \sum R &= R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o \\ &= 2,815 \times 10^{-3} + 4,634 \times 10^{-4} + 2,347 \times 10^{-4} + 0,488 + 3,908 \times 10^{-6} + 0,387 \\ &\text{m.K/W} \\ &= 0,878 \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

Waktu yang diperlukan untuk memasukkan tekanan puncak pertam hingga 2,0 bar yaitu selama 13 mwnit. Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka panas yang hilang melalui dinding *sterilizer* pada puncak pertama dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Q_{loss}}{l} &= \frac{2\pi (\Delta T)}{\sum R} \\ Q_{loss} &= \frac{2\pi (\Delta T)}{\sum R} \times l \\ &= \frac{2\pi (386-304)}{0,878 \text{ m} \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}} \times 27,30 \text{ m} \\ &= 20503,700 \text{ W} \\ &= 16019,975 \text{ J/s} \times 780 \text{ s} \\ &= 12495580,5 \text{ J} \\ &= 12495,5805 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi panas yang hilang melalui dinding *sterilizer* pada puncak pertama sebesar 1295,5805 kJ

4.1.6 Perhitungan Kehilangan Panas Melalui Dinding Sterilizer pada Puncak Kedua

- a. Hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat *sterilizer*

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{1}{h_i \times r_1} \\ &= \frac{1}{658,438 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 1,025 \text{ m}} \\ &= 1,481 \times 10^{-3} \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

- b. Hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat *sterilizer*

$$\begin{aligned}
 R_p &= \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{plat}} \\
 &= \frac{\ln\left(\frac{1,05\text{ m}}{1,025\text{ m}}\right)}{52\frac{W}{m}\cdot K} \\
 &= 4,634 \times 10^{-4} \text{ m.K/W}
 \end{aligned}$$

- c. Hambatan termal dari dinding luar plat *sterilizer* ke tebal lapisan 1 (stainless steel)

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_1} \\
 &= \frac{\ln\left(\frac{1,054\text{ m}}{1,05\text{ m}}\right)}{16,2\frac{W}{m}\cdot K} \\
 &= 2,347 \times 10^{-4} \text{ m.K/W}
 \end{aligned}$$

- d. Hambatan termal dari tebal lapisan 1 *stainless pain* ke tebal lapisan 2 (rockwool)

$$\begin{aligned}
 R_2 &= \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_2} \\
 &= \frac{\ln\left(\frac{1,079\text{ m}}{1,054\text{ m}}\right)}{0,048\frac{W}{m}\cdot K} \\
 &= 0,488 \text{ m.K/W}
 \end{aligned}$$

- e. Hambatan termal dari tebal lapisan 2 (rockwool) ke tebal lapisan 3 (aluminium)

$$\begin{aligned}
 R_3 &= \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{k_3} \\
 &= \frac{\ln\left(\frac{1,08\text{ m}}{1,079\text{ m}}\right)}{1237\frac{W}{m}\cdot K} \\
 &= 3,908 \times 10^{-6} \text{ m.K/W}
 \end{aligned}$$

- f. Hambatan termal dari tebal lapisan 3 ke udara

$$\begin{aligned}
 R_0 &= \frac{1}{h_o \times r_5} \\
 &= \frac{1}{3,436\frac{W}{m^2}\cdot K \times 1,08\text{ m}} \\
 &= 0,269 \text{ m.K/W}
 \end{aligned}$$

Total nilai besar hambatan termal :

$$\begin{aligned}\sum R &= R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o \\ &= 1,481 \times 10^{-3} + 4,634 \times 10^{-4} + 2,347 \times 10^{-4} + 0,488 + 3,908 \times 10^{-6} + 0,269 \\ &\text{ m.K/W} \\ &= 0,759 \text{ m.K/W}\end{aligned}$$

Waktu yang diperlukan untuk memasukkan tekanan puncak pertam hingga 2,5 bar yaitu selama 15 menit. Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka panas yang hilang melalui dinding *sterilizer* pada puncak kedua dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{Q_{loss}}{l} &= \frac{2\pi (\Delta T)}{\sum R} \\ Q_{loss} &= \frac{2\pi (\Delta T)}{\sum R} \times l \\ &= \frac{2\pi (401-305)}{0,759 \text{ m}\frac{\text{K}}{\text{W}}} \times 27,30 \text{ m} \\ &= 21695,615 \text{ W} \\ &= 21695,615 \text{ J/s} \times 900 \text{ s} \\ &= 19526053,5 \text{ J} \\ &= 19526,0535 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Jadi panas yang hilang melalui dinding *sterilizer* pada puncak pertama sebesar 19526,0535 kJ

4.1.7 Perhitungan kehilangan panas melalui tutup sterilizer pada puncak pertama

- a. Menghitung luas permukaan tutup *sterilizer*

$$\begin{aligned}A &= 2 \frac{\pi}{4} \times (D_5)^2 \\ &= 2 \frac{\pi}{4} \times (2,160 \text{ m})^2 \\ &= 7,32 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- b. Menghitung nilai besar hambatan termal

Untuk menghitung nilai hambatan termal yang terjadi pada saat proses perebusan pada puncak pertama dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$R_{th} = \sum R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o$$

Keterangan

$$\sum R = \text{jumlah hambatan termal dari tutup } \textit{sterilizer} \text{ (K/W)}$$

R_i = hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat tutup *sterilizer* (K/W)

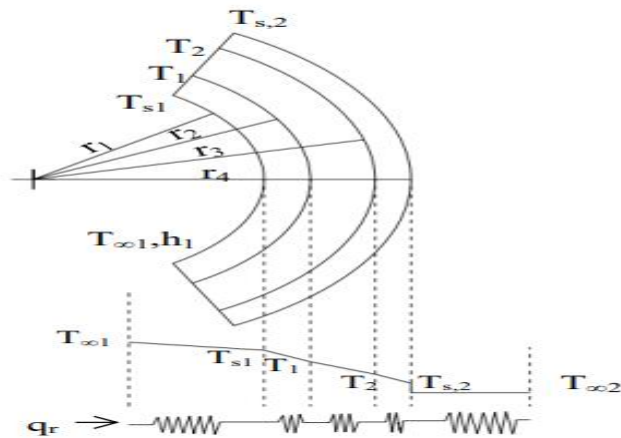
R_i = hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat tutup *sterilizer* (K/W)

R_1 = hambatan termal dari dinding luar plat tutup *sterilizer* ke tebal lapisan 1, 9mm (*stainless steel*) (K/W)

R_2 = hambatan termal dari tebal lapisan 1 (*stainless steel*) ke tebal lapisan 2, 50mm (*rockwool*) (K/W)

R_3 = hambatan termal dari tebal lapisan 2 (*rockwool*) ke tebal lapisan 3, 1mm (*aluminium*) (K/W)

R_0 = hambatan termal dari tebal lapisan 3 (*aluminium*) ke udara (K/W)



Gambar 4. 1. Hambatan

- a. Hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat tutup *sterilizer*

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{1}{h_i \times A} \\ &= \frac{1}{345,544 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 7,32 m^2} \\ &= 3,942 \times 10^{-4} K/W \end{aligned}$$

- b. hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat tutup *sterilizer*

$$R_p = \frac{t_{plat}}{k_{plat} \times A}$$

$$= \frac{0,05 \text{ m}}{52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \times 7,32 \text{ m}^2}$$

$$= 1,313 \times 10^{-4} \text{ K/W}$$

- c. hambatan termal dari dinding luar plat tutup *sterilizer* ke tebal lapisan 1 (*stainless steel*)

$$R_1 = \frac{t_1}{k_1 \times A}$$

$$= \frac{0,009 \text{ m}}{16,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \times 7,32 \text{ m}^2}$$

$$= 7,589 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

- d. hambatan termal dari tebal lapisan 1 (*stainless steel*) ke tebal lapisan 2 (*rockwool*)

$$R_2 = \frac{t_2}{k_2 \times A}$$

$$= \frac{0,05 \text{ m}}{0,048 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \times 7,32 \text{ m}^2}$$

$$= 0,142 \text{ K/W}$$

- e. hambatan termal dari tebal lapisan 2 (*rockwool*) ke tebal lapisan 3 (*aluminium*)

$$R_3 = \frac{t_3}{k_3 \times A}$$

$$= \frac{0,001 \text{ m}}{237 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \times 7,32 \text{ m}^2}$$

$$= 5,764 \times 10^{-7} \text{ K/W}$$

- f. hambatan termal dari tebal lapisan 3 (*aluminium*) ke udara

$$R_0 = \frac{1}{h_o \times A}$$

$$= \frac{1}{2390 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \times 7,32 \text{ m}^2}$$

$$= 0,057 \text{ K/W}$$

Total nilai besar hambatan termal :

$$\sum R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o$$

$$= (3,942 \times 10^{-4} + 1,313 \times 10^{-4} + 7,589 \times 10^{-5} + 0,142 + 5,764 \times 10^{-7} + 0,057) \text{ K/W}$$

$$= 0,199 \text{ K/W}$$

Waktu yang diperlukan untuk memasukkan tekanan puncak pertama hingga 2,0 bar yaitu selama 13 menit. Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka panas yang hilang melalui tutup *sterilizer* pada puncak pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{loss} &= \frac{(T_{steam} - T_{udara})}{\sum R} \\
 &= \frac{(386-304)K}{0,199 K/W} \\
 &= 412,060 W \\
 &= 412,060 J/s \times 780 s \\
 &= 321406,8 J \\
 &= 321,4068 kJ
 \end{aligned}$$

Jadi panas yang hilang melalui tutup *sterilizer* pada puncak pertama sebesar 321,4068 kJ.

4.1.8 Perhitungan kehilangan panas melalui tutup sterilizer pada puncak kedua

- a. Hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat tutup *sterilizer*

$$\begin{aligned}
 R_i &= \frac{1}{h_i \times A} \\
 &= \frac{1}{658,438 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 7,32 m^2} \\
 &= 2,075 \times 10^{-4} K/W
 \end{aligned}$$

- b. hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat tutup *sterilizer*

$$\begin{aligned}
 R_p &= \frac{t_{plat}}{k_{plat} \times A} \\
 &= \frac{0,05 m}{52 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 7,32 m^2} \\
 &= 1,313 \times 10^{-4} K/W
 \end{aligned}$$

- c. hambatan termal dari dinding luar plat tutup *sterilizer* ke tebal lapisan 1 (*stainless steel*)

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{t_1}{k_1 \times A} \\
 &= \frac{0,009 m}{16,2 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 7,32 m^2} \\
 &= 7,589 \times 10^{-5} K/W
 \end{aligned}$$

- d. hambatan termal dari tebal lapisan 1 (*stainless steel*) ke tebal lapisan 2 (*rockwool*)

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{t_2}{k_2 \times A} \\ &= \frac{0,05 \text{ m}}{0,048 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 7,32 \text{ m}^2} \\ &= 0,142 \text{ K/W} \end{aligned}$$

- e. hambatan termal dari tebal lapisan 2 (*rockwool*) ke tebal lapisan 3 (*aluminium*)

$$\begin{aligned} R_3 &= \frac{t_3}{k_3 \times A} \\ &= \frac{0,001 \text{ m}}{237 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 7,32 \text{ m}^2} \\ &= 5,764 \times 10^{-7} \text{ K/W} \end{aligned}$$

- f. hambatan termal dari tebal lapisan 3 (*aluminium*) ke udara

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{1}{h_o \times A} \\ &= \frac{1}{3,436 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 7,32 \text{ m}^2} \\ &= 0,039 \text{ K/W} \end{aligned}$$

Total nilai besar hambatan termal :

$$\begin{aligned} \sum R &= R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o \\ &= (2,074 \times 10^{-4} + 1,313 \times 10^{-4} + 7,589 \times 10^{-5} + 0,142 + 5,764 \times 10^{-7} \\ &\quad + 0,039) \text{ K/W} \\ &= 0,181 \text{ K/W} \end{aligned}$$

Waktu yang diperlukan untuk memasukkan tekanan puncak pertama hingga 2,5 bar yaitu selama 15 menit. Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka panas yang hilang melalui tutup *sterilizer* pada puncak pertama dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{loss} &= \frac{(T_{steam} - T_{udara})}{\sum R} \\ &= \frac{(401 - 305) \text{ K}}{0,181 \text{ K/W}} \\ &= 530,386 \text{ W} \\ &= 530,386 \text{ J/s} \times 900 \text{ s} \\ &= 477347,4 \text{ J} \\ &= 477,3474 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi panas yang hilang melalui tutup *sterilizer* pada puncak pertama sebesar 477,3474 kJ.

4.1.9 Menghitung Total Kehilangan Panas

Total kehilangan panas dapat diperoleh dari seluruh panas yang hilang melalui dinding sterilizer dan tutup sterilizer. Untuk menghitung total kehilangan panas pada peak I dan II dapat dihitung sebagai berikut :

a. Peak I

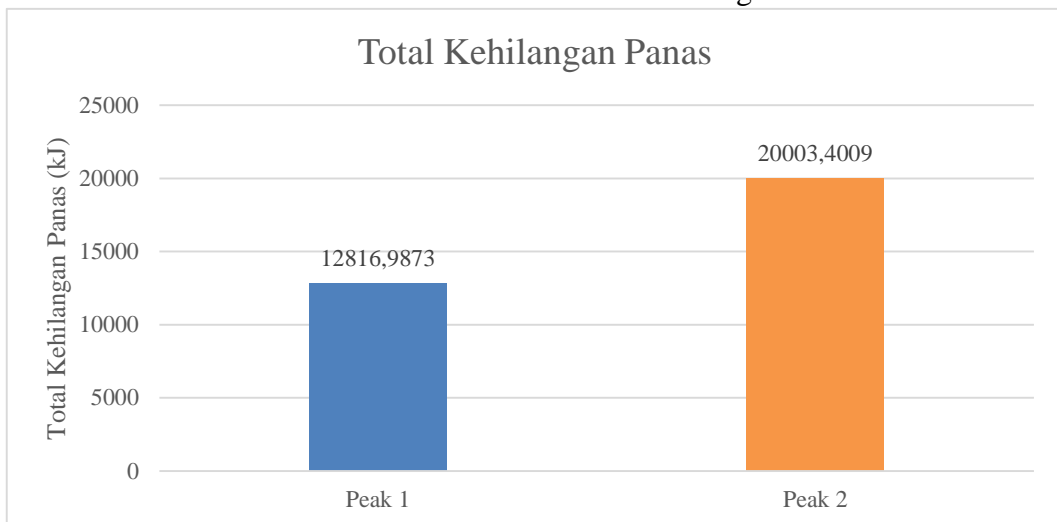
$$12495,5805 \text{ kJ} + 321,4068 \text{ kJ} = 12816,9873 \text{ kJ}$$

b. Peak II

$$19526,0535 \text{ kJ} + 477,3474 \text{ kJ} = 20003,4009 \text{ kJ}$$

Dari hasil perhitungan nilai kehilangan panas yang terjadi pada dinding dan tutup sterilizer pada peak 1 dan peak 2 dapat di lihat pada grafik di bawah ini

Gambar 4. 2. Grafik Total Kehilangan Panas



Berdasarkan grafik 4.2 dapat di lihat total kehilangan panas yang terjadi pada peak 2 lebih besar di bandingkan dengan peak 1,hal ini di sebabkan karena uap steam yang masuk pada peak(puncak) ke 2 lebih besar dari pada puncak pertama,sama seperti yang terjadi pada prorses pencarian nilai total kehilangan panas di atas tekanan yang masuk pada puncak ke sebesar 2,5 bar sedangkan pada puncak pertama sebesar 2.0 bar,maka di peak ke 2 nilai kehilangan panas lebih tinggi di bandingkakn dengan peak 1.

4.1.10 Menghitung kesetimbangan energi

Perubahan energi dalam dapat diperoleh dari selisih energi yang masuk ke dalam sterilizer, energi yang keluar dari sterilizer dan panas yang hilang melalui dinding sterilizer dan tutup sterilizer. Untuk menghitung kesetimbangan energi dari peak I, II dapat dihitung sebagai berikut :

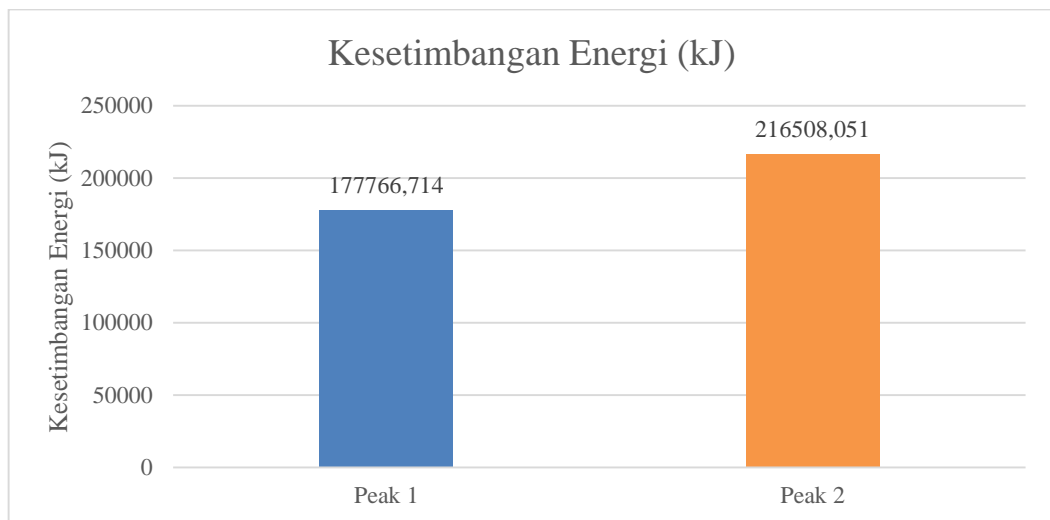
a. Peak I

$$\begin{aligned}\Delta U &= E_{in} - E_{out} - Q_{loss} \\ &= 207812,869 \text{ kJ} - 17229,167 \text{ kJ} - 12816,9873 \text{ kJ} \\ &= 177766,714 \text{ kJ}\end{aligned}$$

b. Peak II

$$\begin{aligned}\Delta U &= E_{in} - E_{out} - Q_{loss} \\ &= 257892,855 \text{ kJ} - 21381,403 \text{ kJ} - 20003,4009 \text{ kJ} \\ &= 216508,051 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai kesetimbangan energi yang terjadi pada dinding dan tutup sterilizer pada peak 1 dan peak 2 dapat di lihat pada grafik di bawah ini



Gambar 4. 3. Grafik Kesetimbangan Energi

Berdasarkan grafik 4.3 dapat di lihat total kehilangan panas yang terjadi pada peak 2 lebih besar di dibandingkan dengan peak 1,hal ini di sebabkan karena uap steam yang masuk pada peak(puncak) ke 2 lebih besar dari pada puncak pertama,yaitu bertekanan 2,5 bar, sedangkan pada peak pertama sebesar 2,0

bar.sama seperti yang terjadi pada perhitungan nilai kehilangan panas.

4.1.11 Menghitung Efisiensi Thermal

Efisiensi termal adalah perbandingan dari energi yang berguna yaitu perubahan energi dalam dengan energi yang masuk sterilizer.

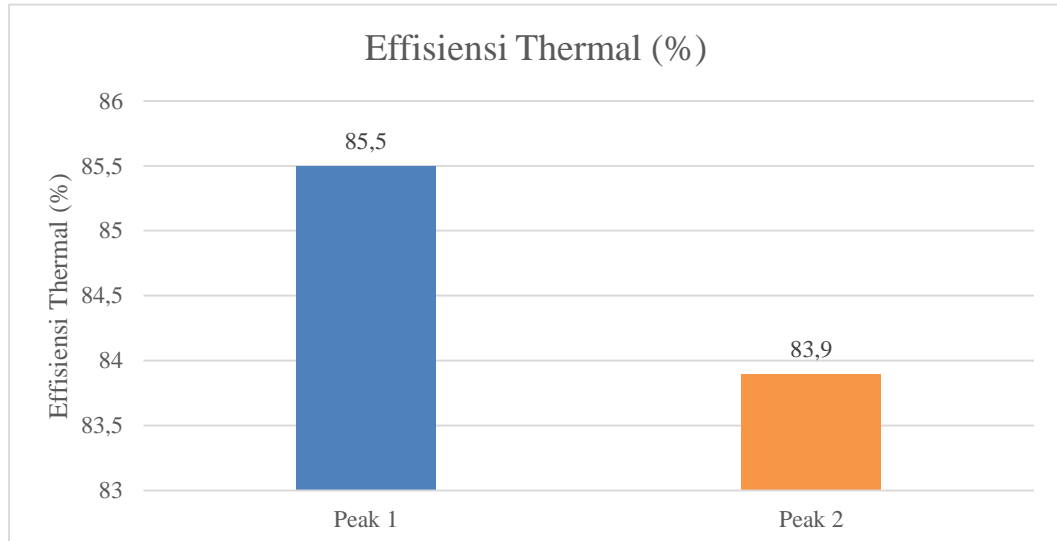
a. Peak I

$$\begin{aligned}n_{th} &= \frac{\Delta U}{E_{in}} = \frac{177766,714 \text{ kJ}}{207812,869 \text{ kJ}} \times 100 \\ &= 0,855 \times 100 \\ &= 85,5\%\end{aligned}$$

b. Peak II

$$\begin{aligned}n_{th} &= \frac{\Delta U}{E_{in}} = \frac{216508,051 \text{ kJ}}{257892,855 \text{ kJ}} \times 100 \\ &= 0,839 \times 100 \\ &= 83,9\%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai efisiensi thermal yang terjadi pada dinding dan tutup sterilizer pada peak 1 dan peak 2 dapat di lihat pada grafik di bawah ini



Gambar 4. 4. Efisiensi Thermal

Berdasarkan grafik 4.3 dapat di lihat nilai efisiensi thermal yang terjadi pada peak 1 lebih besar di bandingkan dengan peak 2,perhitungan ini berbanding terbalik dengan perhitungan kehilangan panas dan kesetimbangan energi,di karenakan uap steam yang masuk ke dalam sterilizer pada peak 2 lebih besar di bandingkan dengan

peak 1 sementara itu efisiensi thermal merupakan perbandingan energi yang bermanfaat untuk merebus kelapa sawit (TBS), kemudian semakin tinggi uap steam yang di dapat pada peak 2 maka perbandingan energi yang bermanfaat pada peak 2 semakin rendah.

4.2 Pembahasan

Jadi panas yang hilang di dalam bejana Sterilizer ini di sebabkan melalui hilangnya panas dari tutup dan dinding *Sterilizer*, banyak aspek yang mempengaruhi hilangnya panas dari komponen tersebut, contohnya pada dinding *sterilizer* yang mengalami keausan pada bagian peredam panas yang ada di bagian lapisan dinding *sterilizer*, sehingga menyebabkan panas yang ada di dalam *sterilizer* keluar. kemudian di bagian tutup sterilizer juga sangat rentan terjadinya kehilangan panas, adapun aspek yang terjadi pada tutup sterilizer tersebut yaitu kebocoran pada paking tutup sterilizer sehingga panas yang ada di dalam sterilizer dapat keluar.

Dari dua aspek tersebut dapat kita pahami bahwa semakin sering terjadi kehilangan panas, maka proses perebusan buah TBS akan semakin lama, sehingga pihak PKS kemudian hasil pengolahan dapat mengalami kerugian, baik itu kerugian waktu maupun kerugian sumber daya energi pada industri tersebut.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan, penelitian dan pembahasan yang saya lakukan selama penelitian di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS ADOLINA dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai perpindahan panas Koefisien konveksi steam *Sterilizer* pada puncak pertama $346,544 \text{ W/m}^2 \cdot K$, dan pada puncak kedua $658,438 \text{ W/m}^2 \cdot K$, kemudian nilai perpindahan panas Koefisien konveksi udara *Sterilizer* pada puncak pertama $2,390 \text{ W/m}^2 \cdot K$, dan pada puncak kedua $3,436 \text{ W/m}^2 \cdot K$.
- b. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai kehilangan panas melalui dinding sterilisasi pada puncak pertama 12495,5805 kJ, dan pada puncak kedua 19526,0535 kJ, kemudian nilai panas yang hilang melalui tutup *Sterilizer* pada puncak pertama 321,4068 kJ, dan pada puncak kedua 477,3474 kJ. Kehilangan panas di unit sterilisasi meningkat dari peak pertama ke peak kedua karena suhu dan tekanan di dalam alat sterilisasi meningkat dari peak pertama ke peak kedua dengan total kehilangan panas di alat sterilisasi di unit *Sterilizer* menggunakan sistem perebusan dua puncak (double peak) pada peak Pertama sebesar 12816,9873 kJ dan pada peak kedua sebesar 20003,4009 kJ
- c. Efisiensi Thermal di unit *Sterilizer* pada puncak pertama dan kedua didapatkan nilai, pada puncak pertama 0,855 menjadi 85,5 % dan puncak kedua 0,839 menjadi 83,9 %

5.2 Saran

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis sadar bahwa jauh lebih dari kata sempurna, baik itu dalam materi maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar dikemudian hari penulis dapat menghasilkan karya yang lebih baik lagi. Oleh karena itu beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya.

- a. Tekanan masuk *steam* harus tetap diperhatikan agar proses perebusan dapat

berlangsung sesuai dengan yang diinginkan pada Sterilizer tersebut.

- b. Temperatur pada permukaan luar dinding *Sterilizer* harus tetap diperhatikan.
- c. Diperlukan ketelitian dalam menganalisis agar mendapat hasil yang lebih akurat.
- d. Dan yang pastinya selalu menjaga perawatan dan kebersihan pada Sterilizer guna bagian dari perawatan Sterilizer tersebut

DAFTAR PUSTAKA

- M. Pardamean, Panduan lengkap pengelolaan kebun dan pabrik Kelapa Sawit, Jakarta: Agromedia Pustaka, 2008.
- L. Masruroh, "Proses Perebusan kelapa Sawit pada Stasiun Sterilizer," *Program studi teknologi pangan, fakultas pertanian Universitas IslamIndragiri*, pp. 43 - 48, 2021
- Y. E. Yan Fauzi, Kelapa Sawit, Depok: Penebar Swadaya, 2012
- T. Sitepu, "Analisa kebutuhan uap pada sterilizer pabrik kelapa sawit denganlama perebusan 90 menit," *Jurnal Dinamis*, vol. II, pp. 27 - 31, 2011
- S. Iskandar, Perpindahan Panas: Teori, Soal, Penyelesaian, Yogyakarta: Deepublish, 2014
- R. B. Joni Hermana, "Kondensasi," *Jurusan Teknik Lingkungan, InstitutTeknologi Sepuluh November*, pp. 1 - 26, 2011.
- C. Soekardi, Termodinamika Dasar Mesin Konversi Ebergi, Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET, 2015.
- I. Y. Awalya, "Perhitungan Kehilangan Panas Pada Proses Sterilisasi Tandan Buah Segar (Tbs) Di Unit Sterilizer," Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Program Studi Teknik Kimia, 2020.
- H. T. N. d. R. A. Stepanie, "Efisiensi Pabrik Kelapa Sawit di Indonesia," *Jurnal Agribisnis Indonesia*, vol. 6, pp. 27 - 36, 2018.
- D. Hidayati, "Analisis Termal Pada Sterilizer Crude Palm Oil Di PT BomaBisma Indra," *Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November*, 2016.
- Y. F, "Efisiensi Produksi CPO (cruide Palm Oil)," *PT. Agro MasangPerkasa, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh*, 2015.
- I. d. M. S. Rahardja, "efektivitas Proses Pembuangan Udara Melalui Pipa Condensate pada Stasiun Rebusan (Sterilizer) di Pabrik Kelapa Sawit.," *Jurnal Citra Widya Edukasi (JCWE).*, vol. 4, pp. 15 - 24, 2012.
- A. N. S. d. A. P. Suandi, "analisa Pengolahan Kelapa Sawit dengan KapasitasOlah 30 ton/jam," *PT. BIO Nusantara Teknologi. Jurnal Teknosia*, vol. II, pp.12 - 19, 2016.

- D. V, "Analisis Kehilangan Minyak Pada Crude Palm Oil (CPO) Dengan Menggunakan Metode Statistical Process Control," *Pekanbaru: UIN Sultan Syarif Kasim.*, 2014.
- C. A. Siregar and S. Lubis, "Perencanaan Instrumen Konversi Energi Tenaga Gelombang Dengan Menggunakan Teknik Kolom Osilasi," *J. MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 1, no. 1, pp. 63–71, 2020, doi:
- Agustiar, P., Pracoyo, W., & Azharul, F. (2019). Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* [Http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME](http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME), 2(2), 131–139.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Table A.3 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor) Pressure Table

TABLE A.3 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	2.50
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	3.00
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	3.50
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8959	4.00
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.25	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	4.50
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	5.00
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	6.00
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	7.00
8.00	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	8.00
9.00	175.4	1.1212	0.2150	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	9.00
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	10.0
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	15.0
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	20.0
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	6.2575	25.0
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	6.1869	30.0
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	6.1253	35.0
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	40.0
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1116.2	2600.1	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	45.0
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	50.0
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	60.0
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	70.0
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	80.0
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	90.0
100.	311.1	1.4524	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	5.6141	100.
110.	318.2	1.4886	0.01599	1433.7	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	5.5527	110.

LAMPIRAN 2. Table A.4 Properties of Superheated Water Vapor

TABLE A.4 Properties of Superheated Water Vapor								
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$p = 0.06 \text{ bar} = 0.006 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 36.16^\circ\text{C}$)					$p = 0.35 \text{ bar} = 0.035 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 72.69^\circ\text{C}$)			
Sat.	23.739	2425.0	2567.4	8.3304	4.526	2473.0	2631.4	7.7158
80	27.132	2487.3	2650.1	8.5804	4.625	2483.7	2645.6	7.7564
120	30.219	2544.7	2726.0	8.7840	5.163	2542.4	2723.1	7.9644
160	33.302	2602.7	2802.5	8.9695	5.696	2601.2	2800.6	8.1519
200	36.383	2661.4	2879.7	9.1398	6.228	2660.4	2878.4	8.3237
240	39.462	2721.0	2957.8	9.2982	6.758	2720.3	2956.8	8.4828
280	42.540	2781.5	3036.8	9.4464	7.287	2780.9	3036.0	8.6314
320	45.618	2843.0	3116.7	9.5859	7.815	2842.5	3116.1	8.7712
360	48.696	2905.5	3197.7	9.7180	8.344	2905.1	3197.1	8.9034
400	51.774	2969.0	3279.6	9.8435	8.872	2968.6	3279.2	9.0291
440	54.851	3033.5	3362.6	9.9633	9.400	3033.2	3362.2	9.1490
500	59.467	3132.3	3489.1	10.1336	10.192	3132.1	3488.8	9.3194
$p = 0.70 \text{ bar} = 0.07 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 89.95^\circ\text{C}$)					$p = 1.0 \text{ bar} = 0.10 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 99.63^\circ\text{C}$)			
Sat.	2.365	2494.5	2660.0	7.4797	1.694	2506.1	2675.5	7.3594
100	2.434	2509.7	2680.0	7.5341	1.696	2506.7	2676.2	7.3614
120	2.571	2539.7	2719.6	7.6375	1.793	2537.3	2716.6	7.4668
160	2.841	2599.4	2798.2	7.8279	1.934	2597.8	2796.2	7.6597
200	3.108	2659.1	2876.7	8.0012	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
240	3.374	2719.3	2955.5	8.1611	2.359	2718.5	2954.5	7.9949
280	3.640	2780.2	3035.0	8.3162	2.546	2779.6	3034.2	8.1445
320	3.905	2842.0	3115.3	8.4504	2.732	2841.5	3114.6	8.2849
360	4.170	2904.6	3196.5	8.5828	2.917	2904.2	3195.9	8.4175
400	4.434	2968.2	3278.6	8.7086	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
440	4.698	3032.9	3361.8	8.8286	3.288	3032.6	3361.4	8.6636
500	5.095	3131.8	3488.5	8.9991	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
$p = 1.5 \text{ bar} = 0.15 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 111.37^\circ\text{C}$)					$p = 3.0 \text{ bar} = 0.30 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 133.55^\circ\text{C}$)			
Sat.	1.159	2519.7	2693.6	7.2233	0.606	2543.6	2725.3	6.9919
120	1.188	2533.3	2711.4	7.2693				
160	1.317	2595.2	2792.8	7.4665	0.651	2587.1	2782.3	7.1276
200	1.444	2656.2	2872.9	7.6433	0.716	2650.7	2865.5	7.3115
240	1.570	2717.2	2952.7	7.8052	0.781	2713.1	2947.3	7.4774
280	1.695	2778.6	3032.8	7.9555	0.844	2775.4	3028.6	7.6299
320	1.819	2840.6	3113.5	8.0964	0.907	2838.1	3110.1	7.7722
360	1.943	2903.5	3195.0	8.2293	0.969	2901.4	3192.2	7.9061
400	2.067	2967.3	3277.4	8.3555	1.032	2965.6	3275.0	8.0330
440	2.191	3032.1	3360.7	8.4757	1.094	3030.6	3358.7	8.1538
500	2.376	3131.2	3487.6	8.6466	1.187	3130.0	3486.0	8.3251
600	2.685	3301.7	3704.3	8.9101	1.341	3300.8	3703.2	8.5892

LAMPIRAN 4. Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure

860
APPENDIX I

TABLE A-15

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

LAMPIRAN 5. Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids

ASTM A516 Carbon Steel, Grade 70

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

Material Notes: Carbon steel plate for moderate and lower temperature service.
Pressure vessel quality

Key Words: SA516; ASTM A285

Vendors: No vendors are listed for this material.

Physical Properties		Metric	English	Comments
Density		7.80 g/cc	0.282 lb/in ³	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties		Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate		485 - 620 MPa	70300 - 89900 psi	
Tensile Strength, Yield		260 MPa	37700 psi	
Elongation at Break		17 %	17 %	in 200mm
		21 %	21 %	in 50mm
Modulus of Elasticity		200 GPa	29000 ksi	Typical Carbon Steel
Bulk Modulus		160 GPa	23200 ksi	Typical for Steel
Poissons Ratio		0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Shear Modulus		80.0 GPa	11600 ksi	Typical for Steel
Electrical Properties		Metric	English	Comments
Electrical Resistivity		0.0000170 ohm-cm	0.0000170 ohm-cm	Typical Carbon Steel
Thermal Properties		Metric	English	Comments
CTE, linear		12.0 µm/m-°C	6.67 µm/in-F	Typical Carbon Steel
Specific Heat Capacity		0.470 J/g-°C	0.112 BTU/lb-F	Typical Carbon Steel
Thermal Conductivity		52.0 W/m-K	361 BTU-in/hr-ft ² -F	Typical Carbon Steel

LAMPIRAN 6. Properties of Carbon Steel

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	Properties at 300 K					Properties at Various Temperatures (K)										
				k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)
Aluminum	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	218	218	218	218	218	218	218	218	
Pure																			
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146	186	186	186	186	186	186	186	186	
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)	1550	2790	883	168	68.2	473	787	925	1042	185	185	185	185	185	185	185	185	185	
Beryllium	2773	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	106	106	106	106	106	106	106	106	
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04	2604	2823	3018	3227	3519	3519	3519	3519	3519	3519	
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	1892	2160	2338	2338	2338	2338	2338	2338	2338	2338	
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	49.4	49.4	49.4	49.4	
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	
Copper	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339	339	339	339	339	339	339	
Pure																			
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	252	356	397	417	433	451	480	480	480	480	480	480	480	
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17	785	460	545	545	545	545	545	545	545	545	545	545	545	
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19	395	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	

LAMPIRAN 7. Physical Properties of Stainless Steel



thyssenkrupp Materials (UK) Ltd

Stainless Steel 1.4301 - 304

Material Data Sheet

Physical Properties

Property	Value
Density	8,000 Kg/m ³
Melting Point	1450 °C
Thermal Expansion	17.2 x 10 ⁻⁶ /K
Modulus of Elasticity	193 GPa
Thermal Conductivity	16.2 W/m.K
Electrical Resistivity	0.072x 10 ⁻⁶ Ω .m

Editor

thyssenkrupp Materials (UK) Ltd
Cox's Lane
Cradley Heath
West Midlands
B64 5QU

Important Note

Information given in this data sheet about the condition or usability of materials respectively products are no warranty for their properties, but act as a description.

The information, we give on for advice, comply to the experiences of the manufacturer as well as our own. We cannot give warranty for the results of processing and application of the products.

LAMPIRAN 8. Physical Properties of Rockwool

PRODUCTS IN DETAIL

TOMBO BRAND

M.G. Felt

Slab shaped insulation made from rockwool bonded with phenolic resin for use in heated equipments, vessels, tanks, etc.



PHYSICAL PROPERTIES

Density (kg/m ³)	40	60	80	100	120	150	200	250
Thickness (mm)	25, 40, 50, 75, 100					25, 40, 50, 75	25, 40, 50	25
Width x Length (mm)	600 x 1,200							
Service Temperature (°C)	Up to 450 °C		Up to 650 °C			Up to 700 °C		
Thermal Conductivity : W/m. K(kcal/m.h.°C)								
100 °C	0.048 (0.042)	0.043 (0.037)	0.042 (0.036)	0.041 (0.035)	0.041 (0.035)	0.040 (0.034)	0.043 (0.037)	0.043 (0.037)
200 °C	-	0.061 (0.052)	0.057 (0.049)	0.057 (0.049)	0.055 (0.047)	0.053 (0.046)	0.052 (0.045)	0.054 (0.046)
300 °C	-	0.087 (0.075)	0.077 (0.066)	0.073 (0.063)	0.071 (0.061)	0.069 (0.059)	0.064 (0.055)	0.067 (0.058)
400 °C	-	0.123 (0.106)	0.099 (0.085)	0.095 (0.082)	0.092 (0.079)	0.088 (0.076)	0.078 (0.067)	0.080 (0.069)
Sound Absorption Coefficient (thickness = 50 mm)								
125 Hz	-	0.28	0.26	0.37	0.35	0.39		
250 Hz	-	0.55	0.73	0.62	0.67	0.61		
500 Hz	-	0.95	0.90	0.91	0.89	0.81		
1000 Hz	-	0.99	0.99	0.98	0.97	0.95		
2000 Hz	-	0.97	0.95	0.95	0.96	0.95		
4000 Hz	-	0.98	0.97	0.97	0.95	0.91		

• Other densities and sizes also are available on request.
 • Equivalent to ASTM C 612 Type IV, JIS A 9504

BERITA ACARA SEMINAR HASIL

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Raflin Fahreza
NPM : 2007230075
Judul Tugas Akhir : Analisis Penyebab Terjadinya Kehilangan Panas (Heat Loss) Pada Sterilizer Kapasitas 25 Ton/Jam Di PKS PTPN IV Adolina

Dosen Pembanding – I : Dr. Suherman, ST, MT
Dosen Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembimbing – I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

KEPUTUSAN

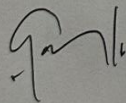
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain
lihat buku skripsi

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

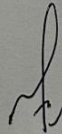
Medan 24 Muharram 1445 H
30 Juli 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT



H. Muharnif, ST, M.Sc

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

Nama : Raflin Fahreza
NPM : 2007230075
Judul Tugas Akhir : Analisis Penyebab Terjadinya Kehilangan Panas (Heat Loss) Pada Sterilizer Kapasitas 25 Ton/Jam Di PKS PTPN IV Adolina

Dosen Pemanding - I : Dr. Suherman, ST, MT
Dosen Pemanding - II : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembimbing - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

KEPUTUSAN

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

.....*perbaiki bab IV (hasil dan pembahasan)*.....
.....
.....

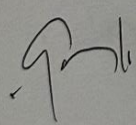
3. Harus mengikuti seminar kembali

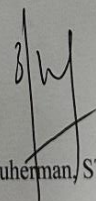
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan, 24 Muharram 1445 H
30 Juli 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

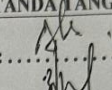
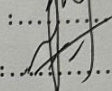
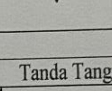
Dosen Pemanding- I








Chandra A Siregar, ST, MT


Dr. Suherman, ST, MT

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

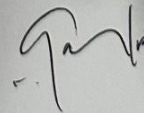
Peserta seminar
 Nama : Raflin Fahreza
 NPM : 2007230075
 Judul Tugas Akhir : Analisis Penyebab Terjadinya Kehilangan Panas (Heat Loss) Pada Sterilizer Kapasitas 25 Ton/Jam Di PKS PTPN IV Adolina

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT	:..... 
Pembanding – I : Dr. Suherman, ST, MT	:..... 
Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc	:..... 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230087	M. Lqbal	
2	2007230023	Riski Pratama	
3	1907230202	M. REZA ISMAIL	
4	2007230046	Andi Kurniawan	
5	2007230003	Firman (Vanda Kurnawan)	
6	2007230102	Muhammad Digo Bakti	
7			
8			
9			
10			

Medan, 24 Muharram 1445 H
30 Juli 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A DATA PRIBADI

Nama : Raflin Fahreza
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 21 Oktober 2002
Alamat : Dusun Kampung Belakang
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Email : raflinfahreza21@gmail.com
No Hp : 085831086858

B RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 050635 Tg Nguda Tahun 2008-2014
2. SMPN 1 Selesai Tahun 2014-2017
3. SMAS Gajah Mada Binjai Tahun 2017-2020
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020-2024

SK PEMBIMBING

LEMBAR ASISTENSI

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis kehilangan panas (heat loss) pada sterilizer kapasitas 25 ton/jam di PKS PTPN IV Adolina
Nama : Raffli Fahrenza
NPM : 2007230075
Dosen Pembimbing : Dr Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	4/8/24	perbaiki hitungan Volume - Bore I	f
2.		tambahkan experimental setup.	f
3.	6/8/24	tambahkan gambar lapisan-S.	f
4.	9/8/24	perbaiki Spontaneous Sterilizer.	f
5.	13/8/24	masukkan grafik pemertangan!	f
6.	14/8/24	tambahkan kesimpulan saran - !!! Bore II	f
7.	18/8/24	perbaiki pemertangan lapisan Bore II	f
8.	24/8/24	All Sising !!!	f