

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH TEBAL DINDING ISOLASI TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA STERILIZER DI PT GUNAS GROUP

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

Disusun Oleh:

M IQBAL LUBIS
2007230037



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Seminar Proposal ini diajukan oleh:

Nama : M Iqbal Lubis
NPM : 2007230037
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap
Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT GUNAS
GROUP
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, 10 Januari 2024

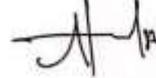
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Munawwar Siregar S.T., M.T.

Dosen Penguji II



Arya Rudi Nasution S.T., M.T.

Dosen Penguji III



Chandra A. Siregar, ST., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A. Siregar, ST., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M Iqbal Lubis
Tempat/Tanggal Lahir : P. Siantar, 12 Maret 2002
NPM : 2007230037
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

"Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT GUNAS GROUP",

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga 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/kesarjanaan saya.

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

Medan, 17 Maret 2025

Saya yang menyatakan,



M IQBAL LUBIS
2007230187

ABSTRAK

Skripsi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tebal dinding isolasi terhadap perpindahan panas pada sterilizer di PT Gunas Group. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya efisiensi energi dalam proses perebusan kelapa sawit, di mana perpindahan panas yang optimal dapat meningkatkan kinerja sterilizer. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer, kesetimbangan energi selama proses perebusan, serta identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi perpindahan panas. Penelitian ini difokuskan pada sterilizer horizontal dengan mempertimbangkan lapisan dinding sterilizer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi masuk dan keluar sterilizer berpengaruh signifikan terhadap efisiensi thermal. Perhitungan perpindahan panas konveksi, koefisien konveksi, serta kehilangan panas melalui dinding sterilizer pada dua puncak menunjukkan adanya variasi yang signifikan tergantung pada ketebalan isolasi. Total kehilangan panas dan kesetimbangan panas juga dihitung untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efisiensi sistem. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa peningkatan tebal dinding isolasi dapat mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan efisiensi thermal sterilizer. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah untuk mengeksplorasi material isolasi alternatif yang dapat lebih meningkatkan kinerja perpindahan panas.

Kata kunci: Isolasi, Perpindahan Panas, Sterilizer, Ketebalan Dinding

ABSTRACT

This thesis aims to analyze the effect of insulation wall thickness on heat transfer in the sterilizer at PT Gunas Group. This research is motivated by the importance of energy efficiency in the palm oil boiling process, where optimal heat transfer can enhance the performance of the sterilizer. The methods used in this study include analyzing heat transfer in the sterilizer's insulation wall, energy balance during the boiling process, and identifying factors that influence heat transfer. The research focuses on a horizontal sterilizer, considering the layers of the sterilizer wall. The results indicate that the energy input and output of the sterilizer significantly affect thermal efficiency. Calculations of convective heat transfer, convection coefficients, and heat loss through the sterilizer wall at two peaks show significant variations depending on the insulation thickness. Total heat loss and heat balance were also calculated to provide a clearer picture of the system's efficiency. The conclusion of this study emphasizes that increasing the insulation wall thickness can reduce heat loss and improve the thermal efficiency of the sterilizer. Recommendations for future research include exploring alternative insulation materials that could further enhance heat transfer performance.

Keywords: Insulation, Heat Transfer, Sterilizer, Wall Thickness

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 laporan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini berjudul “*Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT GUNAS GROUP*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang tulus dan ikhlas kepada:

1. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T dan Bapak Marabdi Siregar, ST., MT., selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UMSU, yang telah banyak memberikan arahan, masukan dan koreksi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. 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 keteknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Ayah M Najib Lubis S.E dan Ade Sri Wahyuni Pane S.Pd, yang telah bersusah payah membesarkan, mendidik dan membiayai studi penulis.

6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis: Hasby Razak, Wahyu Kurniawan, Raja Azira Utama, Raflin Fahreza dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu. Dan Dona Tri Ardillah selaku pasangan penulis

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 13 Maret 2025



M IQBAL LUBIS

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
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 Serilizer Vertikal	5
2.2.2 Sterilizer Horizontal	6
2.3 Boiler	7
2.4 Steam/Uap	7
2.5 Panas	8
2.6 Perpindahan panas	9
2.6.1 Perpindahan Panas Konduksi	9
2.6.2 Perpindahan Panas Konveksi	10
2.6.3 Perpindahan Panas Radiasi	11
2.7 Keseimbangan Energi	12
2.8 Kondensasi	13
2.9 Konduktivitas Thermal	13
2.9.1 Proses Kehilangan Panas	14
2.10 Efisiensi Thermal	15
2.11 Kajian Penelitian yang Relevan	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17

3.1 Tempat Dan Waktu	17
3.1.1 Tempat	17
3.1.2 Waktu	17
3.2 Alat Dan Bahan	18
3.2.1 Sterilizer Horizontal	19
3.2.2 Bahan Penelitian	21
3.3 Bagan Alir Penelitian	22
3.4 Rancangan Alat Penelitian	23
3.5 Prosedur Perhitungan Peneliti	22
3.6 Variabel Penelitian	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Data Hasil Pengujian	26
4.1.1 Energi Masuk <i>Sterilizer</i>	26
4.1.2 Energi Keluar <i>Sterilizer</i>	28
4.1.3 Perhitungan Perpindahan Panas Konveksi	28
4.1.4 Perhitungan Koefisien Konveksi Udara(ho)	31
4.1.5 Perhitungan Kehilangan Panas Melalui Dinding <i>Sterilizer</i> Pada Puncak Pertama	33
4.1.6 Perhitungan Kehilangan Panas Melalui Dinding <i>Sterilizer</i> Pada Puncak Kedua	37
4.1.7 Menghitung Total Kehilangan Panas	39
4.1.8 Menghitung Kesetimbangan Energi	40
4.1.9 Menghitung Efisiensi Thermal	41
4.2 Pembahasan	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
Daftar Pustaka	46
LEMBAR ASISTENSI	
SURAT PENENTUAN TUGAS AKHIR	
BERITA ACARA HADIR SEMINAR	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal dan Kegiatan Penelitian	17
Tabel 3.2 Sterilizer Data	21
Tabel 4.1 Data Berdasarkan Temperatur Pada Setiap Puncak	29
Tabel 4.2 Data Menghitung Koefisien Konveksi <i>Steam</i> Pada Setiap Puncak	29
Tabel 4.3 Data Menghitung Koefisien Konveksi Udara Pada Setiap Puncak	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Pressure Gauge	18
Gambar 3.2 Thermometer	18
Gambar 3.3 Safety Valve	18
Gambar 3.4 Thermo Gun	19
Gambar 3.5 Sterilizer Depan Dan Belakang	20
Gambar 3.6 Lapisan Dinding Sterilizer	20
Gambar 3.7 Design Data Sterilizer	21
Gambar 3.8 Bagan Alir Penelitian	22
Gambar 3.9 Rancangan Alat Penelitian	23
Gambar 4.1 Isolasi Sterilizer	33
Gambar 4.2 Tampak Depan Isolasi Sterilizer	34
Gambar 4.3 Grafik Total Kehilangan Panas	40
Gambar 4.4 Grafik Kesetimbangan Energi	41
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Thermal	42

DAFTAR NOTASI

Kal	= Kalori
J	= Joule
K	= Konduktivitas Thermal
ΔT	= Gradien Suhu
W/M.K	= Watt per meter Kelvin
Q	= Laju Perpindahan Panas (Watt)
A	= Luas Penampang (m^2)
Dt/ dx	= Gradien suhu (K/m)
Ts	= Suhu permukaan (K)
Tsur	= Suhu lingkungan (K)
T ∞	= Suhu Fluida (K)
H	= Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$)
ϵ	= Emisivitas permukaan ($0 \leq \epsilon \leq 1$)
σ	= Konstanta Stefan- Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$)

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap
Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT GUNAS GROUP
Nama : M Iqbal Lubis
Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
----	--------------	----------	-------

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(Masruroh & Mardesci, 2021).

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 didih, 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 (Masrurroh & Mardesci, 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.

Untuk itu penulis mengambil judul Tugas Akhir. Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT GUNAS GROUP yang akan membahas tentang Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap Perpindahan panas terhadap Sterilizer.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perpindahan panas pada isolasi dinding Sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam pada pabrik kelapa sawit PT GUNAS GROUP
2. Bagaimana kesetimbangan energi pada proses perebusan kelapa sawit pada PKS PT GUNAS GROUP
3. Apa faktor-faktor yang mempengaruhi panas pada isolasi dinding sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam

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 PT GUNAS GROUP dan Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Penelitian ini di laksanakan pada tanggal 11 Maret sampai dengan tanggal 15 Maret 2024 ,pukul 08:30-12:00 WIB selama 5 hari.
2. Bahan dan alat yang digunakan untuk peelitian ini adalah dengan menggunakan

alat Safety valve, Manometer, Rototherm Recorder dan Thermo gun.

3. Peralatan yang digunakan saat penelitian analisis perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer 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 standar 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 perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer
2. Menganalisis kesetimbangan energi pada proses perebusan kelapa sawit
3. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi panas pada isolasi dinding sterilizer

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

Kelapa sawit merupakan tanaman tropis yang berasal dari wilayah pesisir barat dan tengah Afrika(Hidayati, 2020). Saat ini, kelapa sawit telah dibudidayakan secara komersial di berbagai negara dengan iklim tropis, seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan beberapa negara Amerika Selatan. Penggunaan limbah cair pabrik kelapa sawit dapat meningkatkan sifat kimia tanah Ultisol, yang bermanfaat bagi pertumbuhan bibit kelapa sawit(Hasbi et al., 2021). Pentingnya pemupukan yang tepat di perkebunan kelapa sawit, karena hal itu secara signifikan memengaruhi pertumbuhan tanaman dan produksi(Hidayati, 2020). Kelapa sawit termasuk ke dalam famili Arecaceae dengan genus *Elaeis*. Terdapat dua spesies kelapa sawit yang dibudidayakan, yaitu *Elaeis guineensis* dan *Elaeis oleifera*, meskipun *E. guineensis* merupakan spesies paling banyak dibudidayakan.

Buah kelapa sawit tersusun atas tiga komponen utama, yaitu mesokarp (daging buah), kernel (inti), dan cangkang (tempurung)(Tantawizal et al., 2003). Bagian mesokarp mengandung kadar minyak tertinggi hingga 50% atau lebih. Minyak sawit diekstrak dari bagian mesokarp dengan berbagai proses, seperti perebusan (sterilisasi), pengepresan, dan lain-lain. Minyak sawit memiliki sejumlah keunggulan dan bermanfaat dalam berbagai produk industri(Amalia et al., 2019). Di antaranya adalah titik leleh tinggi sehingga tahan panas, mengandung antioksidan alami (tokoferol dan tokotrienol), hingga berpotensi sebagai bahan bakar nabati (biodiesel) (Amalia et al., 2019).

Secara keseluruhan, kelapa sawit merupakan komoditas strategis dan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai komoditas ekspor utama, penyedia lapangan kerja, dan sumber devisa negara(Amalia et al., 2019). Area perkebunan kelapa sawit Indonesia mencapai sekitar 14 juta hektar dengan produksi CPO terbesar dunia.

2.2 Stasiun *Sterilizer*

Stasiun *sterilizer* merupakan bagian vital dalam pabrik kelapa sawit (PKS) yang berfungsi melakukan proses perebusan (sterilisasi) tandan buah segar (TBS) dengan uap panas bertekanan sebelum proses ekstraksi minyak. Tujuan sterilisasi adalah menginaktivasi enzim lipase yang dapat menghidrolisis lemak menjadi asam lemak bebas, sehingga mutu minyak sawit yang diekstrak tidak rusak. *Sterilizer* adalah komponen penting dalam pabrik kelapa sawit, bertanggung jawab untuk melakukan sterilisasi tandan buah segar sebelum ekstraksi minyak (Masruroh & Mardesci, 2021).

Proses sterilisasi umumnya menggunakan autoclave horizontal maupun vertikal dengan suhu 120-145°C dan tekanan 2-4 bar selama 60-90 menit tergantung kapasitas dan jenis buahnya (Edi Siswanto & A, 2023a). *Sterilizer* dilengkapi agitator pengaduk untuk meratakan transfer panas ke seluruh TBS. Uap panas bertekanan disuplai boiler dengan bahan bakar serat/cangkang sawit. Kondisi operasi *sterilizer* dipantau cermat untuk mencegah *overheating* atau *underheating* TBS. *Overheating* dapat menurunkan rendemen minyak dan mutunya, sementara *underheating* berisiko gagal menginaktivasi lipase. Oleh karena itu, performa termal *sterilizer* perlu dievaluasi secara rutin, termasuk isolasi dan kehilangan panasnya (Mahyunis et al., 2023).

2.2.1 *Sterilizer* Vertikal

Sterilizer vertikal, komponen utama dalam jalur pengolahan minyak kelapa sawit, adalah alat yang kuat dan efisien untuk mensterilkan tandan buah kelapa sawit. (Sitepu, 2011) *Sterilizer* vertikal merupakan jenis alat sterilisasi berbentuk silinder tegak yang digunakan pada lini pengolahan kelapa sawit. *Sterilizer* vertikal umumnya terbuat dari baja tahan karat ketebalan hingga 12 mm agar mampu menahan tekanan dan suhu operasi tinggi (Sitepu, 2011). Struktur *sterilizer* vertikal terdiri atas bejana silinder, tutup atas (top cover), dasar bawah, pintu bukaan atas, agitator, dan rangka penyangga. Silinder dilapisi isolasi untuk meminimalkan kehilangan panas. Di bagian dalam, dipasang kompartemen baffle yang berfungsi meningkatkan turbulensi aliran uap dan panas yang merata.

Prinsip kerja *sterilizer* vertikal adalah TBS dimasukkan dari atas melalui

pintu bukaan yang kemudian ditutup rapat. Uap panas bertekanan dialirkan dari dasar ke atas melalui pipa dan nozzle sehingga seluruh bagian dalam terendam uap panas. Agitator berputar mengaduk isi sterilizer agar panas merata (Tambunan & Muslimin, 2018). Parameter operasi meliputi tekanan 2-4 bar, suhu 120-140°C, lama waktu proses 60-90 menit. Variabel tersebut harus terkontrol agar kematangan buah seragam. Setelah selesai, TBS dikeluarkan lewat pintu atas menuju stasiun berikutnya (Edi Siswanto & A, 2023b).

Keuntungan *sterilizer* vertikal antara lain konstruksi kokoh, homogenitas panas baik dengan baffle, dan cocok untuk pabrik skala besar. Kerugiannya membutuhkan lahan vertikal tinggi serta agak rumit dalam handling isi buahnya (Baldani & Taali, 2020).

2.2.2 *Sterilizer* Horizontal

Sterilizer horizontal merupakan alat pensteril tandan buah segar (TBS) kelapa sawit dengan bentuk fisik silinder horizontal. Di dalam silinder terdapat ruang untuk meletakkan TBS yang akan dipanaskan oleh uap panas bertekanan tinggi (Maulana Rizki Nov & Bustani, 2023). Bahan konstruksi utamanya adalah stainless steel SUS304 dengan ketebalan pelat 8-12 mm, agar mampu menahan temperatur kerja 120-140°C serta tekanan uap 2-4 bar (Sulistiani et al., 2021). *Sterilizer* dilengkapi pintu bukaan berupa closable gate valve tempat dimasukkan dan dikeluarkannya TBS. Untuk meratakan panas, dipasang agitator berputar yang akan mengaduk isi sterilizer selama proses. Bagian luar sterilizer dipermanen dengan isolasi fibro glass atau batu bata untuk mengurangi kehilangan panas. Prinsip kerjanya, TBS yang baru dipanen dimasukkan ke dalam tabung, lalu pintu ditutup rapat agar uap panas tidak bocor keluar. Uap jenuh temperatur 130-140°C dialirkan ke dalam tabung dari nozzle bawah dan atas secara merata (Sulistiani et al., 2021). Putaran agitator akan memastikan semua TBS mencapai kematangan yang sama. Kelebihan utama sterilizer horizontal ini adalah konstruksi dan perawatannya cukup mudah. Namun membutuhkan lahan/space yang luas karena bentuknya memanjang horizontal (Baldani & Taali, 2020; Sitepu, 2011; Sitorus, 2020). Efisiensi termalnya juga lebih rendah dibandingkan tipe vertikal.

2.3 Boiler

Boiler adalah bejana tekan tempat memproduksi uap jenuh dengan cara memanaskan air hingga mencapai titik didih pada tekanan operasi tertentu. Di pabrik kelapa sawit, boiler berperan vital menyediakan uap panas bertekanan yang digunakan untuk proses sterilisasi dan ekstraksi pada berbagai stasiun (Hidjrawan et al., 2022). Boiler pada pabrik kelapa sawit umumnya bertipe water tube dengan kapasitas 10-30 ton uap per jam. Penggunaan boiler dengan kapasitas 20 ton uap per jam dalam pabrik kelapa sawit 40 ton per jam telah ditemukan tidak mencukupi karena menurunnya efisiensi boiler dan peningkatan permintaan uap (Rahardja et al., 2021). Terbuat dari pipa-pipa baja yang diligaskan, dengan jumlah 3-4 lintasan pipa sebagai tube. Bagian dalam boiler termasuk tube-tube berisi air yang dipanaskan oleh hasil pembakaran di luar tube.

Bahan bakar boiler berupa cangkang, serat/fiber serta limbah biomassa sawit lainnya. Nilai pemanasan rendah (Low Heating Value/LHV) tertinggi sebesar 43805,04008 Kcal/Kg diperoleh dengan menggunakan campuran 70% serbuk gergaji dan 30% serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler (Roni, 2021a). Uap jenuh yang dihasilkan memiliki tekanan 20-40 bar dan temperatur 240-340°C, untuk kemudian didistribusikan ke berbagai peralatan pabrik termasuk sterilizer. Beberapa bagian vital boiler antara lain burner, ignition chamber, economizer, steam drum, superheater, pompa air umpan, separator uap, cerobong asap, sistem kontrol, dan perpipaan (Pesulima B. et al., 2017). Peran penting lain adalah sistem pembuangan abu hasil pembakaran bahan bakar agar efisiensi dan umur pakai boiler tinggi. Untuk performa maksimal, kondisi air umpan boiler, tekanan dan temperatur operasi, tingkat blowdown, suplai bahan bakar, serta kondisi air pendingin harus dipantau dan dikendalikan agar sesuai standar (Syarifuddin et al., 2021). Hal ini memerlukan operator boiler yang kompeten dan bersertifikasi.

2.4 Steam/Uap

Steam, sebuah medium pemanas penting dalam pabrik kelapa sawit, dihasilkan melalui pemanasan air dalam sebuah boiler (Alidina et al., 2022). Steam atau uap adalah fase gas dari air yang dihasilkan dengan cara memanaskan

air pada tekanan atmosferik ataupun tekanan tinggi hingga mencapai titik didih. Di pabrik kelapa sawit, steam merupakan media pemanas vital yang digunakan pada berbagai stasiun seperti sterilizer, digester, dan lain-lain. Steam dibangkitkan di boiler dengan cara memanaskan air umpan hingga mendidih pada tekanan operasi tertentu (Utama, 2021). Misal pada tekanan 17 bar, titik didih air adalah 184°C. Ini dinamakan saturated steam karena masih mengandung sejumlah uap jenuh (Abbas et al., 2019).

Jika saturated steam dipanaskan lebih lanjut tanpa mengubah tekanannya, akan terbentuk superheated steam. Superheated steam memiliki entalpi dan temperatur lebih tinggi sehingga efisiensi termalnya juga lebih baik. Parameter penting steam antara lain tekanan (bar), temperatur/entalpi (°C atau kJ/kg), kapasitas (ton/jam), kecepatan (m/s), kualitas uap, dan lain-lain. Steam harus memenuhi spesifikasi agar dapat bekerja optimal pada peralatan pemanas di pabrik. Keuntungan steam sebagai media pemanas adalah efisiensi termal tinggi, mudah didistribusikan lewat pipa, temperatur dan tekanan dapat diatur, serta ramah lingkungan (Roni, 2021b). Namun biaya investasi boiler cukup tinggi dan perlu perawatan rutin agar steam yang dihasilkan prima (Roni, 2021b). Analisis bahan bakar yang tidak terbakar dalam boiler tabung air yang menggunakan serat dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar menunjukkan persentase bahan bakar yang tidak terbakar yang signifikan, yang dapat mempengaruhi efisiensi (Setiawan & Yusuf, 2021).

2.5 Panas

Panas (heat) adalah bentuk energi yang ditransfer dari satu benda ke benda lain akibat adanya perbedaan temperatur. Satuan energi panas adalah kalori (kal) atau joule (J) (Supu et al., 2017). Panas selalu mengalir secara spontan dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah sehingga kedua benda cenderung mencapai keseimbangan termal atau kesamaan temperatur. Proses perpindahan panas terjadi melalui konduksi, konveksi, radiasi ataupun kombinasinya (Tonglo, 2020). Dalam pabrik kelapa sawit, panas (steam) digunakan sebagai media pemanas vital pada berbagai stasiun (Edi Siswanto & A, 2023b). Contoh pemanfaatannya adalah pada proses sterilisasi TBS di sterilizer. Uap panas yang dihasilkan boiler dialirkan ke dalam sterilizer untuk memanaskan dan memasak

TBS pada suhu dan tekanan tertentu. Proses transfer panas dalam sterilizer sangat penting untuk menjaga lingkungan kerja yang aman dan sehat (Tambunan & Muslimin, 2018). Selama proses, panas akan merambat dari uap menuju TBS melalui konveksi dan konduksi pada dinding sterilizer. Pada saat yang sama, sejumlah panas juga hilang ke lingkungan melalui konveksi dan radiasi dari permukaan sterilizer. Oleh karena itu diperlukan isolasi yang baik agar kehilangan panasnya minimal. Untuk mengevaluasi performa termal suatu proses diperlukan analisis kesetimbangan energi dan perpindahan panas (Alfarizy & Narundana, 2023). Tujuannya adalah memaksimalkan panas yang dimanfaatkan serta meminimalkan kehilangan panas agar efisiensi termal optimal.

2.6 Perpindahan panas

Perpindahan panas (heat transfer) adalah ilmu yang mempelajari tentang mekanisme perpindahan energi panas antar benda atau sistem yang memiliki temperatur berbeda (Cahyaningdias & Putra, 2020).

Ada tiga mekanisme utama perpindahan panas (Ozisik, 1984), yaitu:

1. Konduksi - Perpindahan panas melalui kontak langsung antar molekul pada medium padat. Contohnya perambatan panas pada batang logam.
2. Konveksi - Perpindahan panas dengan bantuan pergerakan massa fluida (gas atau cair). Misalnya perambatan panas dari pelat logam ke udara di sekitarnya.
3. Radiasi - Perambatan panas melalui gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan medium perantara. Contohnya pancaran panas inframerah dari benda padat/cair ke lingkungan.

2.6.1 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi adalah mekanisme perpindahan panas pada zat padat yang tidak disertai dengan perpindahan massa (Gates, 1980). Konduksi terjadi karena adanya tumbukan dan getaran molekul (vibrasi). Molekul yang memiliki energi kinetik lebih tinggi akan mentransfer energi berupa panas ke molekul tetangga yang energinya lebih rendah.

$$q = -kA(dT/dx)$$

Di mana:

- q = laju perpindahan panas (Watt)
- k = konduktivitas termal bahan ($W/m \cdot K$)
- A = luas penampang (m^2)
- dT/dx = gradien suhu (K/m) (Ezekoye, 2016)

Kecepatan perpindahan panas secara konduksi bergantung pada konduktivitas termal (k) dari material, luas penampang (A), dan gradien suhu (ΔT). Semakin tinggi nilai k maka semakin cepat panas terkonduksi.

Konduksi banyak terjadi pada logam yang merupakan konduktor panas yang baik. Sebaliknya isolator seperti plastik, kayu, dan udara memiliki nilai k rendah sehingga transfer panas konduksinya sangat lambat.

Pada sterilizer, konduksi terjadi pada dinding baja yang menghantarkan panas dari sisi dalam bertemperatur tinggi ke permukaan luar yang lebih dingin (Shofiyani & Damajanti, 2017). Oleh karena baja adalah konduktor yang baik maka kehilangan panasnya cukup signifikan. Diperlukan isolasi (insulasi) yang baik untuk meminimalkan laju konduksi panas dari sterilizer ke lingkungan (Tambunan & Muslimin, 2018). Semakin tebal dan baik bahan isolasinya, maka laju perpindahan panas konduksi akan semakin berkurang.

2.6.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pergerakan massa fluida (gas atau cair) (Gates, 1980). Konveksi terjadi ketika bagian fluida yang bersuhu tinggi bergerak dan digantikan bagian fluida bersuhu rendah secara terus menerus (Sandra, 2021). Konveksi dibagi menjadi konveksi bebas dan konveksi paksa (Atmaja et al., 2020).

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

Di mana:

- q = laju perpindahan panas (Watt)
- h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

- A = luas permukaan (m^2)
- T_s = suhu permukaan (K)
- T_∞ = suhu fluida (K) (Takeuchi et al., 2015)

Konveksi bebas terjadi karena perbedaan massa jenis fluida akibat variasi suhu (Susilo et al., 2021). Contohnya pergerakan udara panas dari radiator ke atas. Konveksi paksa terjadi jika aliran fluida dipaksakan dengan kipas atau pompa. Laju perpindahan panas konveksi bergantung pada perbedaan suhu, luas permukaan, jenis fluida, dan kecepatan alirannya. Konveksi merupakan mekanisme transfer panas yang dominan pada aliran fluida. Pada sterilizer, konveksi signifikan terjadi pada perpindahan panas dari uap ke tandan buah (Tambunan & Muslimin, 2018). Uap panas mengalir melewati celah tandan buah, memanaskannya secara konveksi. Konveksi udara juga terjadi dari permukaan sterilizer.

2.6.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi melalui pancaran gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan medium perantara (Hamid, 2016). Semua benda dengan suhu di atas 0 mutlak ($-273,15^\circ\text{C}$) memancarkan energi panas ke lingkungan dalam bentuk gelombang elektromagnetik, yang disebut radiasi termal. Benda dengan suhu lebih tinggi memancarkan radiasi yang lebih intens.

$$q = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4)$$

Di mana:

- q = laju perpindahan panas (Watt)
- ϵ = emisivitas permukaan ($0 \leq \epsilon \leq 1$)
- σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
- A = luas permukaan (m^2)
- T_s = suhu permukaan (K)
- T_{sur} = suhu lingkungan (K) (Ganji et al., 2018)

Laju perpindahan panas secara radiasi bergantung pada selisih temperatur pangkat empat, emisivitas permukaan, dan luas area yang memancarkan (Hamid, 2016). Tidak seperti konduksi dan konveksi, radiasi dapat terjadi dalam ruang hampa udara. Pada sterilizer, susut panas radiasi cukup signifikan dari permukaan luar ke lingkungan (Tambunan & Muslimin, 2018). Permukaan baja cenderung memiliki emisivitas tinggi sehingga memancarkan panas inframerah dengan cepat. Oleh karena itu bagian luar perlu diinsulasi. Semakin tinggi temperatur sterilizer, maka laju radiasi ke lingkungannya juga semakin besar (Tambunan & Muslimin, 2018). Radiasi panas dapat dihindari dengan memberikan lapisan isolasi seperti rockwool atau fibro glass pada permukaan sterilizer.

2.7 Keseimbangan Energi

Keseimbangan energi (energy balance) adalah hukum termodinamika yang menyatakan bahwa total energi masuk sama dengan total energi keluar pada sebuah sistem tertutup dalam keadaan tunak/steady (Hadza, 2021). Penerapan keseimbangan energi dalam engineering adalah untuk menganalisis performa dan efisiensi dari suatu proses atau peralatan. Contoh penerapannya pada sterilizer kelapa sawit:

- Energi masuk: panas yang dibawa uap dari boiler
- Energi keluar: panas yang diserap TBS, kehilangan panas ke lingkungan
- Keseimbangan: laju perpindahan panas uap = laju panas ke TBS + susut panas

Dengan menganalisis keseimbangan energi, dapat diketahui berapa panas yang dimanfaatkan (oleh TBS) dan berapa yang hilang. Hasilnya digunakan untuk mengevaluasi efisiensi termal proses serta mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki.

Contoh penerapan pada sterilisasi TBS di sterilizer PKS:

- Energi masuk: panas yang dibawa uap dari boiler (dihitung dari entalpi uap)
- Energi diserap: panas yang diserap TBS untuk proses pemasakan
- Energi keluar: susut panas ke lingkungan akibat konveksi dan radiasi
- Rumuskan persamaan keseimbangan energinya

- Hitung efisiensi termal sterilisasi dan identifikasi area penghematan panas

Secara umum, total panas yang masuk akan sama dengan jumlah panas yang dimanfaatkan (useful) ditambah panas yang hilang/tersia-siakan (loss). Tujuan utamanya adalah memaksimalkan pemanfaatan panas dan meminimalkan kehilangan panas agar efisiensi termal optimal.

2.8 Kondensasi

Kondensasi adalah proses perubahan fase uap menjadi cairan (Shofiyani & Damajanti, 2017). Hal ini terjadi ketika uap kehilangan sejumlah energi panasnya sehingga temperatur menurun hingga mencapai titik embun pada tekanan tersebut. Titik embun adalah suhu dimana uap mulai mengembun berubah fase menjadi cairan. Kondensasi banyak terjadi pada sistem yang melibatkan uap panas bertekanan tinggi, seperti di pabrik kelapa sawit (Tambunan & Muslimin, 2018). Beberapa contoh area yang rawan kondensasi yaitu permukaan luar pipa uap, dinding bagian atas sterilizer, serta peralatan yang dialiri uap panas lainnya. Ini karena permukaan benda tersebut memiliki temperatur jauh di atas titik embun sehingga uap yang kontak langsung dengan udara sekitarnya yang lebih dingin akan segera mengembun.

Terbentuknya kondensat dalam jumlah besar mengindikasikan panas yang hilang dari sistem. Kondensasi yang berlebihan tentu tidak diinginkan karena akan menurunkan efisiensi termal proses. Oleh karena itu, upaya pencegahan kondensasi perlu dilakukan agar pemanfaatan panas menjadi optimal (Herawati et al., 2014). Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kondensasi antara lain memberikan isolasi pada permukaan alat-alat bertemperatur tinggi, menjaga ruang pabrik tetap pada suhu normal, serta mengatur ulang jalur pipa uap agar tidak terlalu panjang dan berliku-liku. Dengan demikian, panas uap dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk proses produksi.

2.9 Konduktivitas Thermal

Konduktivitas termal (thermal conductivity) adalah kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas (Ardana et al., 2021). Konduktivitas termal ditentukan oleh sifat alami dari tiap material (Suoth et al., 2019). Satuan dari konduktivitas termal adalah Watt per meter Kelvin (W/m.K). Semakin tinggi nilai

konduktivitas termal suatu zat, semakin baik kemampuannya dalam menghantarkan panas secara konduksi (Vazri Muharom & Rifky, 2022). Logam umumnya memiliki konduktivitas termal tinggi seperti tembaga (385 W/m.K), aluminium (235 W/m.K), besi (80 W/m.K). Sebaliknya, zat isolator seperti udara, plastik, dan kayu memiliki nilai konduktivitas termal sangat rendah (Vazri Muharom & Rifky, 2022).

Konduktivitas termal dipengaruhi oleh massa jenis, struktur molekul, dan komposisi kimia dari suatu material. Konduktivitas termal suatu material dipengaruhi oleh kepadatannya, struktur molekulnya, dan komposisi kimianya, dengan suhu yang lebih tinggi umumnya menghasilkan konduktivitas termal yang lebih tinggi (Ellitan & Anatan, 2007). Nilainya juga bergantung pada suhu operasi. Makin tinggi temperatur, umumnya konduktivitas termal semakin meningkat. Dalam rekayasa termal, pemilihan material berdasarkan nilai konduktivitas termalnya sangat penting (Miswar, 2017). Konduktivitas termal optimal untuk aplikasi tertentu merupakan keputusan yang kompleks yang memerlukan pertimbangan berbagai faktor, termasuk sifat termal material dan suhu operasionalnya (Assagaf & Dotulong, 2015). Material isolator yang memiliki konduktivitas rendah digunakan untuk mencegah transfer panas dari suatu sistem. Sebaliknya, material konduktor yang memiliki konduktivitas tinggi dimanfaatkan untuk mentransfer panas secara efektif. Oleh karena itu, pemilihan material berdasarkan nilai konduktivitas termalnya adalah aspek penting dalam rekayasa termal (Setiana & Rahayu, 2012).

2.9.1 Proses Kehilangan Panas

Pada sistem yang melibatkan temperatur tinggi seperti sterilizer, akan selalu terjadi kehilangan panas (heat loss) ke lingkungan sekitar yang bertemperatur lebih rendah (Tambunan & Muslimin, 2018). Proses kehilangan panas terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu konveksi alami dari permukaan ke udara sekitar, dan radiasi panas dari permukaan ke sekelilingnya (Fachrudin, 2020). Laju perpindahan panas konveksi bergantung pada luas permukaan, selisih suhu permukaan dan udara, serta koefisien konveksi untuk orientasi permukaan tersebut. Sedangkan laju susut panas radiasi bergantung pada luas permukaan, selisih suhu pangkat 4, dan emisivitas permukaan.

Perbedaan suhu antara permukaan sterilisator dan lingkungannya dapat secara signifikan memengaruhi tingkat kehilangan panasnya, yang berpotensi mengurangi efisiensinya (Tambunan & Muslimin, 2018). Makin besar selisih temperatur permukaan sterilizer dengan sekelilingnya, maka laju kehilangan panasnya juga semakin tinggi. Kehilangan panas yang besar tentu tidak diinginkan karena mengurangi efisiensi termal. Oleh karena itu, upaya yang dilakukan untuk meminimalkan kehilangan panas adalah dengan memberikan isolasi (*insulation*) pada permukaan sistem seperti sterilizer. Isolasi berfungsi sebagai *barrier* termal agar laju kehilangan panas konveksi dan radiasi dapat dikurangi.

2.10 Efisiensi Thermal

Efisiensi termal (*thermal efficiency*) adalah rasio antara energi atau panas yang dimanfaatkan secara efektif terhadap total energi atau panas yang disuplai dalam suatu proses atau sistem termal. Efisiensi termal merupakan parameter penting dalam rekayasa termal untuk mengevaluasi seberapa baik pemanfaatan panas dalam suatu proses.

Dalam konteks pabrik kelapa sawit, efisiensi termal menjadi penting untuk mengoptimalkan pemanfaatan panas dari uap yang dihasilkan boiler. Salah satu aplikasinya adalah pada proses sterilisasi tandan buah segar (TBS) di sterilizer. Efisiensi termal sterilisasi menunjukkan persentase panas dari uap yang benar-benar dimanfaatkan untuk memasak TBS, dibandingkan dengan total panas yang disuplai dari uap.

Secara matematis, efisiensi termal sterilisasi dapat dihitung dengan membandingkan energi panas yang diserap oleh TBS dengan total energi panas yang disuplai ke sterilizer dalam bentuk uap panas:

$$\text{Efisiensi termal} = (\text{Energi panas diserap TBS}) / (\text{Total energi panas dari uap}) \times 100\%$$

Semakin tinggi efisiensi termal, berarti semakin banyak panas dari uap yang dimanfaatkan untuk proses sterilisasi TBS, dan semakin sedikit panas yang hilang atau terbuang ke lingkungan.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi termal sterilisasi antara lain:

Kualitas isolasi (*insulasi*) pada dinding sterilizer

Kondisi operasi sterilizer seperti suhu, tekanan, dan waktu tinggal

Homogenitas distribusi panas di dalam sterilizer

Kehilangan panas akibat kondensasi dan kebocoran uap

Performa boiler dalam menghasilkan uap panas

Dengan menganalisis efisiensi termal, kita dapat mengidentifikasi area untuk perbaikan agar pemanfaatan panas lebih optimal. Misalnya dengan memperbaiki insulasi sterilizer, mengoptimalkan kondisi operasi, atau meningkatkan performa boiler. Semakin tinggi efisiensi termal yang dicapai, maka semakin hemat penggunaan bahan bakar boiler dan biaya operasional pabrik.

2.11 Kajian Penelitian yang Relevan

1. Penelitian oleh Rizal dkk (2015) tentang analisis performa termal pada vertical sterilizer di pabrik kelapa sawit. Penelitian ini melakukan audit energi dengan analisis kesetimbangan energi untuk mengevaluasi efisiensi termal proses sterilisasi. Hasilnya menunjukkan bahwa sekitar 18% panas masih hilang ke lingkungan.
2. Skripsi oleh Alex (2018) tentang minimisasi kehilangan panas pada sistem perpipaan uap di pabrik kelapa sawit. Penelitian ini memberikan usulan untuk memperbaiki insulasi pipa-pipa uap panas agar kehilangan panasnya lebih kecil.
3. Jurnal oleh Wang dkk (2020) tentang model evaluasi unjuk kerja horizontal sterilizer dengan variasi ketebalan isolasi. Penelitian ini melakukan simulasi pengaruh ketebalan isolasi terhadap efisiensi termal proses sterilisasi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian Analisis pengaruh tebal dinding isolasi terhadap perpindahan panas pada sterilizer di PT Gunas Group, perusahaan bergerak di bidang pengolahan kelapa sawit.

3.1.2. Waktu

Pengerjaan Analisa Numerik ini dilaksanakan setelah mendapat persetujuan dari dosen pembimbing, dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian.

No	Nama Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Penentuan Judul Proposal						
2	Pengumpulan studi literatur tentang analisis pengaruh tebal dinding isolasi terhadap perpindahan panas sterilizer						
3	Observasi ke lapangan						
4	Penentuan diagram perhitungan						
5	Proses analisa data						
6	Proses perhitungan analisa data						
7	Penyusunan tugas akhir						
8	Seminar Hasil						
9	Sidang Sarjana						

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan penelitian pada tugas akhir ini adalah sterilizer di PT. Gunas Grup, maka dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Pressure Gauge



Gambar 3. 2 Thermometer

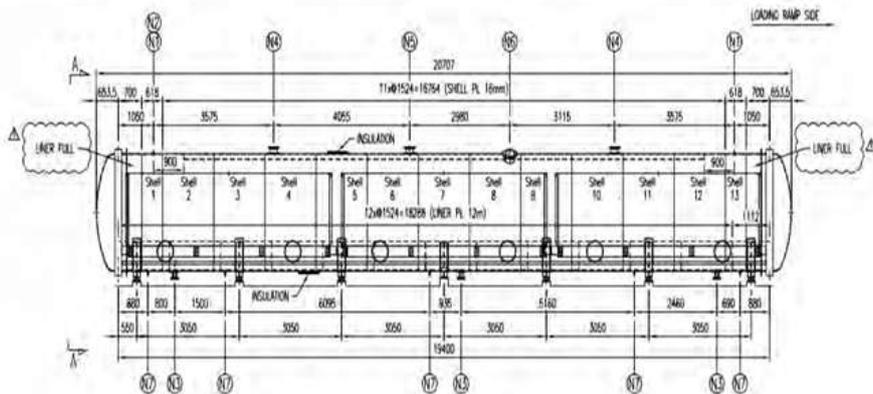
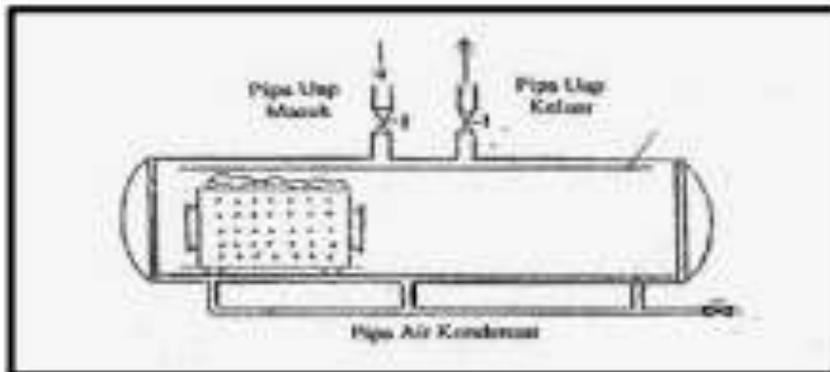


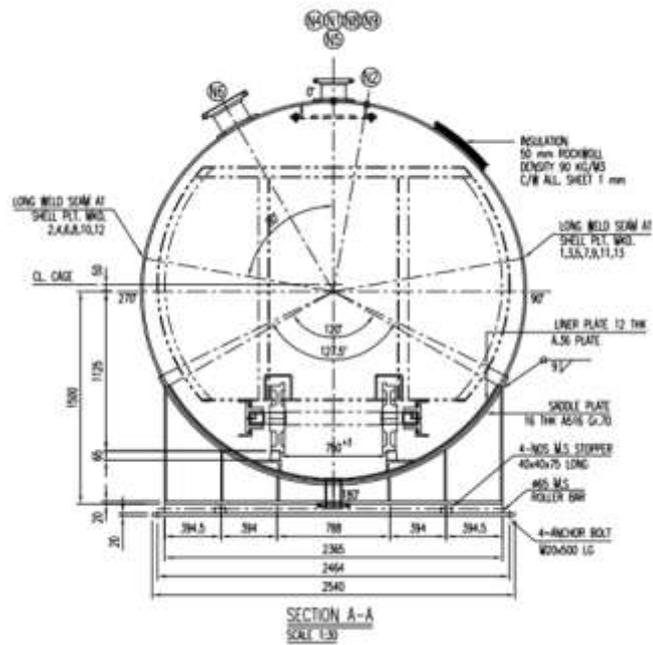
Gambar 3. 3 Safety Valve



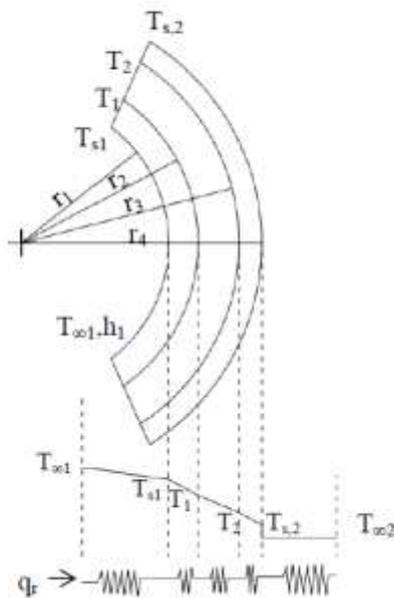
Gambar 3. 4 Thermo Gun

3.2.1. Sterilizer Horizontal





Gambar 3. 5 Sterilizier Depan dan Belakang



Gambar 3. 6 Lapisan Dinding Sterilizier

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data perusahaan yang digunakan pada penelitian, diantaranya dapat digambarkan sebagai berikut

DESIGN DATA			
DESIGN CODE	ASME SECTION VII DIVISION I 1999 ED. + ADD. 2000 OR EQUIVALENT		
DESIGN PRESSURE	3.5 bar	CORROSION ALLOWANCE	1.5 mm (0.0625)
HYDROSTATIC TEST PRESS.	5.25 bar @ 30° C	RADIOGRAPHY	10 %
DESIGN TEMPERATURE	147° C	JOINT EFFICIENCY	0.70 (SHELL) 0.85 SEAMLESS HEAD
WORKING PRESSURE	3.1 bar	P.H.W.T.	NO
WORKING TEMP.	145° C	MEDIUM	STEAM
MIN. DESIGN MAT'L TEMP.	21° C	VOLUME	132 M3
MATERIAL			
SHELL	A 516 GR. 70	BOLT & NUT	A 191 GR.2H A 194 GR.2H
HEADS	A 516 GR. 70	SOCKET	A-36
SADDLE WEB & STIFF	JIS G3101 or A36	PIPE	A-106 GR.B SCH 40
SADDLE PADS	A 516 GR. 70	ROD BAR	A-36
FLANGE PADS	16 mm-A 516 GR. 70		
FLANGE	WELDING NECK		
GASKET	3 mm CAF		
LINER (SHELL)	12mm A-36		
LINER (HEAD)	6mm SS 304		
WEIGHT			
EMPTY	19 M.T	OPERATING	- M.T
FILLED WITH WATER	153 M.T		
OTHERS			
INSULATION	YES	NAME PLATE	YES
EARTH LUG	YES	ANCHOR BOLT	YES
LIFTING LUG	YES		

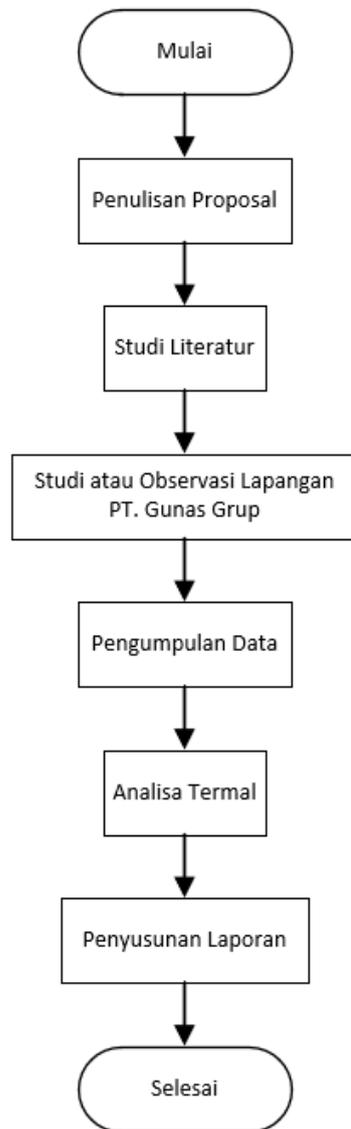
Gambar 3. 7 Design Data Sterilizer

Tabel 3.2 Sterilizer Data 1

Type	Horizontal
Capacity	30 Ton
Outside Diameter	2700 mm
Cylinder Length	19400 mm
Shell Thickness	16 mm
Working Pressure Max	7,1 Bar

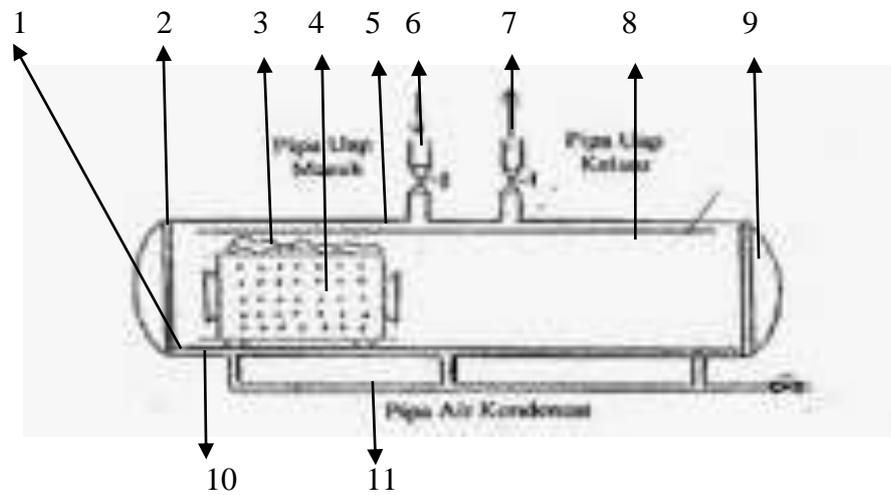
3.3. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pelaksanaan penelitian sesuai data pengumpulan data, data yang dibutuhkan untuk analisis diperoleh dari dokumen PT. Gunas Grup, data tersebut berupa data rancangan dan spesifikasi Sterilizer. Bagan alir penelitian sesuai gambar berikut:



Gambar 3. 8 Bagan Alir Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

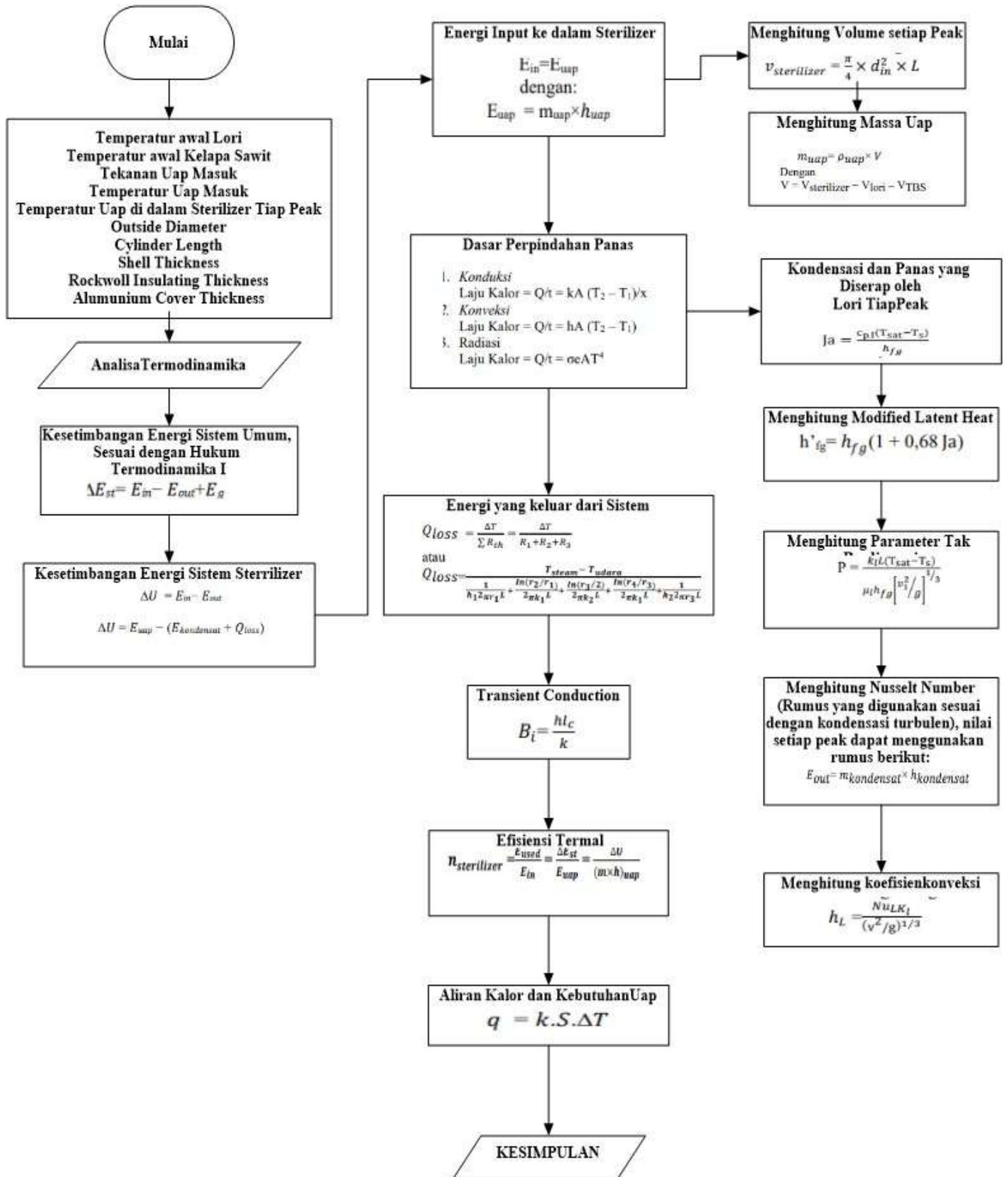


Gambar 3. 9 Rancangan Alat Penelitian

Keterangan Gambar :

1. *Rail Track* pintu
2. Pintu Pemasukan Lori
3. Tandan Buah Segar (TBS)
4. Lori
5. Pipa Pemasukan uap
6. Pipa Pengeluaran uap
7. *Safety Valve*
8. Ketel Rebusan
9. Pintu Keluaran Lori
10. *Rail Track* dalam rebusan
11. Pipa Pembuangan Air Kondensasi

3.5. Prosedur Perhitungan Penelitian



3.6. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Perfomance dinding isolasi sterilizer terhadap perpindahan panas yang dihasilkan

2. Variabel Terikat

Pengaruh uap sterilizer terhadap tingkat kemasakan pada buah sawit yang direbus

3. Variabel Kontrol

Tekanan atau Bar yang dapat diatur tekanannya dan dapat dikontrol secara langsung.

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

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

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

2. Menghitung massa uap pada *sterilizer*

Massa uap dapat dihitung sebagai berikut :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Menghitung massa uap pada *sterilizer*

Massa uap dapat dihitung sebagai berikut :

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

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

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

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

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_1) dan Koefisien Konveksi Udara (h_0)

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 :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{k_1 L (T_{sat} - T_s)}{\mu_1 h'_{fg} \left(\frac{v_1^2}{g}\right)^{1/3}} \\
 &= \frac{0,667 \text{ W/m.K} \times 3,220 \text{ m} \times (386 - 310) \text{ K}}{0,378 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} \times 2438593,6 \text{ J/kg} \times \left(\frac{(1,561 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2)}{9,81 \text{ m}}\right)^{1/3}} \\
 &= 606,901
 \end{aligned}$$

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 :

$$\begin{aligned}
 Nu &= \frac{1}{P} [(0,024 P - 53) Pr^{1/2} + 89]^{4/3} \\
 &= \frac{1}{606,901} [(0,024(606,901) - 53) 2,38^{1/2} + 89]^{4/3} \\
 &= 0,151593
 \end{aligned}$$

e. Menghitung koefisien konveksi

$$\begin{aligned}
 h_i &= \frac{Nu k_1}{(v_1^2/g)^{1/3}} \\
 &= \frac{0,151593 \times 0,667 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}{\left(\frac{1,561 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2}\right)^{1/3}} \\
 &= 346,544 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

Pada puncak kedua

a. Menghitung *Jacob Number*

Jacob Number dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Ja &= \frac{Cp_1 (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \\
 &= \frac{4206 \text{ J/kg.K} (401 - 325) \text{ K}}{2179800 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,146644$$

b. Menghitung *Modified Latent Heat*

$$\begin{aligned} h'_{fg} &= h_{fg} (1 + 0,68 \text{ Ja}) \\ &= 2179,8 \text{ kJ/kg} (1 + 0,68 (0,146644)) \\ &= 2397,1651 \text{ kJ/kg} = 2397165,1 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

c. Menghitung Parameter Tak Berdimensi

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

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

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 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

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

4.1.4 Perhitungan Korfisien Konveksi Udara (ho)

Untuk mencari $T_f = \frac{(T_s + T_{udara})}{2}$, 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 _f (K)	C _p (J/kg.K)	k (W/m.K)	α (m ² /s)	β (K ⁻¹)	v (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*

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

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 :

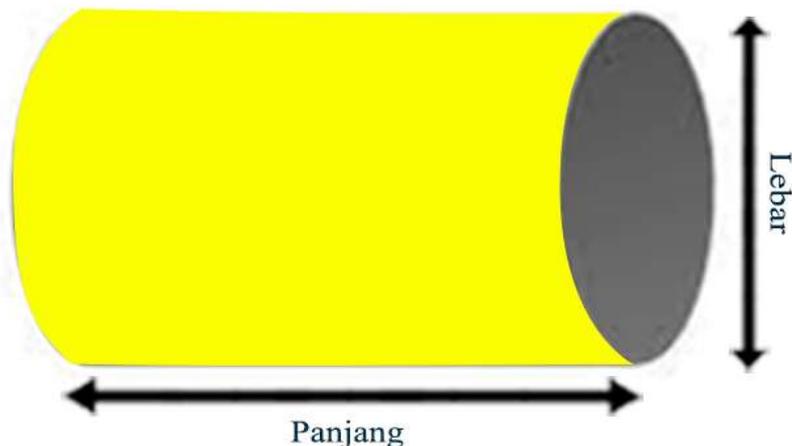
$$\begin{aligned} Nu &= \left[0,60 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 \\ &= \left[0,60 + \frac{0,387 (1,411 \times 10^{10})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,7260}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right]^2 \\ &= 269,629 \end{aligned}$$

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 Isolasi *Sterilizer* pada Puncak Pertama

a. Menghitung nilai diameter dan jari-jari



Gambar 4.1 Isolasi Sterilizer

Pada plat isolasi *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 :

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

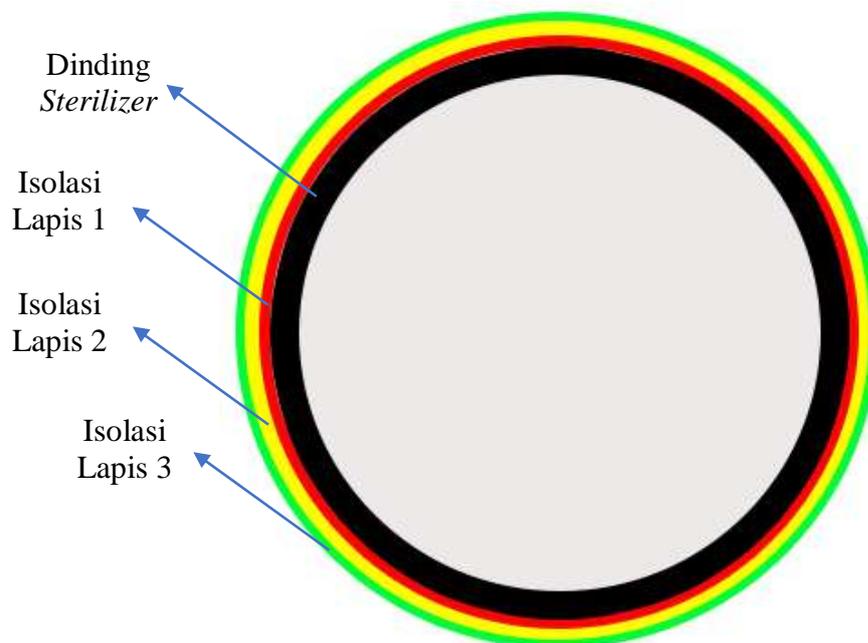
$$D_{out} = D_2 = 2100 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 2,1 \text{ m}$$

$$D_3 = D_2 + \Delta X_1 = 2,1 \text{ m} + 0,009 \text{ m} \\ = 2,109 \text{ m}$$

$$D_4 = D_3 + \Delta X_2 = 2,109 \text{ m} + 0,05 \text{ m} \\ = 2,159 \text{ m}$$

$$D_5 = D_4 + \Delta X_3 = 2,159 \text{ m} + 0,001 \text{ m} \\ = 2,160 \text{ m}$$

b. Menghitung nilai jari-jari



Gambar 4.2 Tampak Depan Isolasi *Sterilizer*

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_i = 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_3 = hambatan termal dari tebal lapisan 3 (*aluminium*) ke udara (m.K/W)

1) Hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat *sterilizer*

$$R_i = \frac{1}{h_i \times r_1}$$

$$= \frac{1}{346,544 \frac{W}{m^2} \times 1,025 \text{ m}}$$

$$= 2,815 \times 10^{-3} \text{ m.K/W}$$

- 2) Hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat *sterilizer*

$$R_p = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{plat}}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,05 \text{ m}}{1,025 \text{ m}}\right)}{52 \frac{W}{m.K}}$$

$$= 4,634 \times 10^{-4} \text{ m.K/W}$$

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

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_1}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,054 \text{ m}}{1,05 \text{ m}}\right)}{16,2 \frac{W}{m.K}}$$

$$= 2,347 \times 10^{-4} \text{ m.K/W}$$

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

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_2}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,079 \text{ m}}{1,054 \text{ m}}\right)}{0,048 \frac{W}{m.K}}$$

$$= 0,488 \text{ m.K/W}$$

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

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{k_3}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,08 \text{ m}}{1,079 \text{ m}}\right)}{1237 \frac{W}{m.K}}$$

$$= 3,908 \times 10^{-6} \text{ m.K/W}$$

6) Hambatan termal dari tebal lapisan 3 ke udara

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{1}{h_o \times r_3} \\ &= \frac{1}{2,390 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 1,08 \text{ m}} \\ &= 0,387 \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

Total nilai besar hambatan termal :

$$\begin{aligned} \sum R &= R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_0 \\ &= 2,815 \times 10^{-3} + 4,634 \times 10^{-4} + 2,347 \times 10^{-4} + 0,488 + 3,908 \times 10^{-6} + 0,387 \\ &\text{ m.K/W} \\ &= 0,878 \text{ m.K/W} \end{aligned}$$

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 :

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

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

1) Hambatan termal dari *steam* ke dinding dalam plat *sterilizer*

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{1}{h_i \times r_1} \\ &= \frac{1}{658,438 \frac{W}{m^2} \times 1,025 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$= 1,481 \times 10^{-3} \text{ m.K/W}$$

- 2) Hambatan termal dari dinding dalam plat *sterilizer* ke dinding luar plat *sterilizer*

$$R_p = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{plat}}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,05 \text{ m}}{1,025 \text{ m}}\right)}{52 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}$$

$$= 4,634 \times 10^{-4} \text{ m.K/W}$$

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

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_1}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,054 \text{ m}}{1,05 \text{ m}}\right)}{16,2 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}$$

$$= 2,347 \times 10^{-4} \text{ m.K/W}$$

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

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_2}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,079 \text{ m}}{1,054 \text{ m}}\right)}{0,048 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}$$

$$= 0,488 \text{ m.K/W}$$

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

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{k_3}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,08 \text{ m}}{1,079 \text{ m}}\right)}{1237 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}$$

$$= 3,908 \times 10^{-6} \text{ m.K/W}$$

- 6) Hambatan termal dari tebal lapisan 3 ke udara

$$R_0 = \frac{1}{h_o \times r_5}$$

$$= \frac{1}{3,436 \frac{W}{m^2} \cdot K \times 1,08 m}$$

$$= 0,269 \text{ m.K/W}$$

Total nilai besar hambatan termal :

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

Waktu yang diperlukan untuk memasukkan tekanan puncak pertama 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 :

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

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

4.1.7 Menghitung Total Kehilangan Panas

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

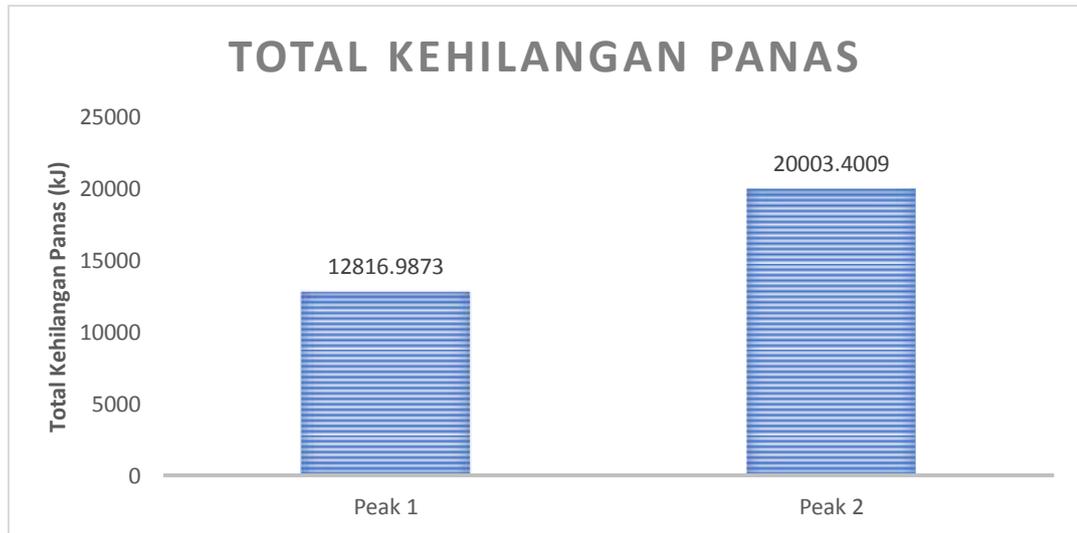
1. Peak I

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

2. 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 4.3 Grafik Total Kehilangan panas

Berdasarkan grafik 4.1 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.

4.1.8 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 :

1. Peak I

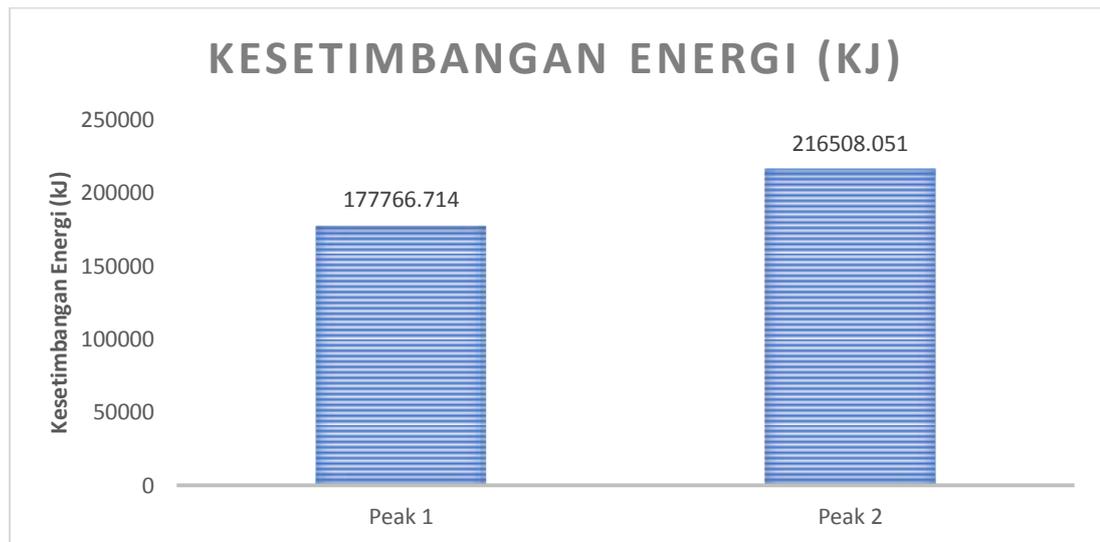
$$\begin{aligned}\Delta U &= E_{in} - E_{out} - Q_{loss} \\ &= 207812,869 \text{ kJ} - 17229,167 \text{ kJ} - 12816,9873 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$= 177766,714 \text{ kJ}$$

2. 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 4.4 Grafik Kesetimbangan energi

Berdasarkan grafik 4.2 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,se sedangkan pada peak pertama sebesar 2,0 bar.sama seperti yang terjadi pada perhitungan nilai kehilangan panas.

4.1.9 Menghitung Efisiensi Thermal

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

1. Peak I

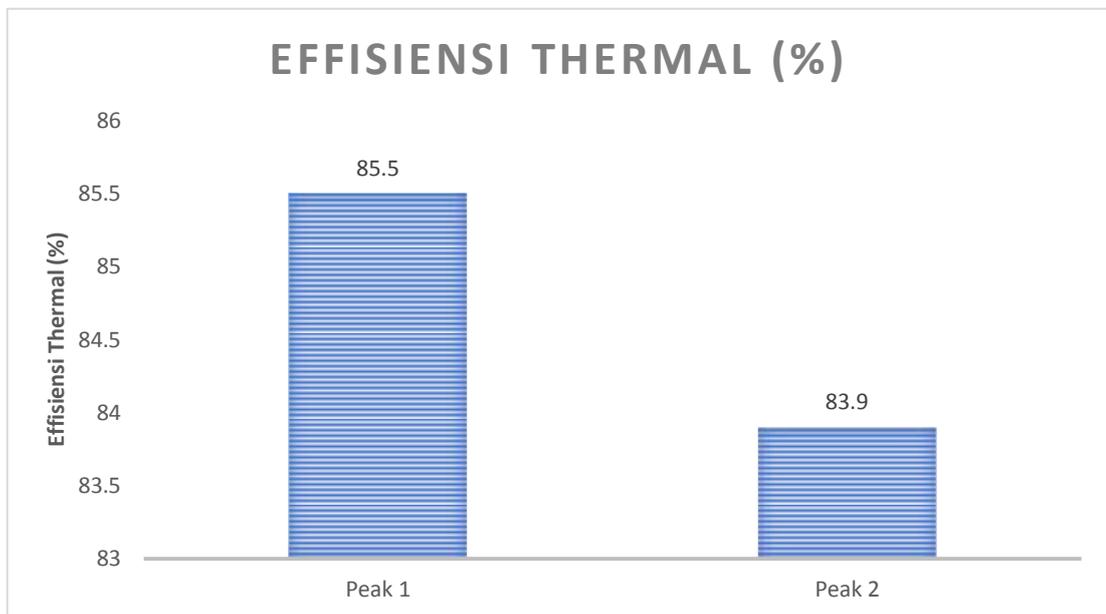
$$\begin{aligned} n_{th} &= \frac{\Delta U}{E_{in}} = \frac{177766,714 \text{ kJ}}{207812,869 \text{ kJ}} \times 100 \\ &= 0,855 \times 100 \end{aligned}$$

$$= 85,5\%$$

2. 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 4.5 Grafik 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 hilang nya panas, banyak aspek yang mempengaruhi hilangnya panas dari komponen tersebut, contoh nya pada isolasi *sterilizer* yang mengalami ke ausan pada bagian peredam panas yang ada di bagian lapisan isolasi dinding *sterilizer*, sehingga menyebabkan panas yang ada di dalam *sterilizer* keluar. Dari salah satu aspek tersebut dapat kita pahami bahwa semakin sering terjadi kehilangan panas, maka proses perebusan buah TBS akan semakin lama, sehingga pihak PKS untuk 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. GUNAS GROUP dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. 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 $3,436 \text{ W/m}^2 \cdot K$.
2. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai kehilangan panas melalui dinding isolasi sterilisasi pada puncak pertama $12495,5805 \text{ kJ}$, dan pada puncak kedua $19526,0535$. 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 $12816,9873 \text{ kJ}$ dan pada peak kedua sebesar $20003,4009 \text{ kJ}$
3. 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 $83,9 \%$ hal ini masih tergolong sangaet efektif karena dilakukan pemasangan isolasi. Dimana isolasi sangat membantu untuk meningkatkan efisiensi thermal sehingga kehilangan panas yang terjadi tidak terlalu besar.

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.

1. Tekanan masuk *steam* harus tetap diperhatikan agar proses perebusan dapat berlangsung sesuai dengan yang diinginkan pada Sterilizer tersebut.
2. Temperatur pada permukaan luar dinding *Sterilizer* harus tetap diperhatikan.
3. Diperlukan ketelitian dalam menganalisis agar mendapat hasil yang lebih akurat.
4. Dan yang pastinya selalu menjaga perawatan dan kebersihan pada Sterilizer guna bagian dari perawatan Sterilizer tersebut

Daftar Pustaka

- Abbas, H., Jamaluddin, J., Arif, M., & Amiruddin, A. (2019). ANALISA PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK DENGAN TENAGA UAP DI PLTU. *ILTEK : Jurnal Teknologi*, 14(01), 2024–2028. <https://doi.org/10.47398/iltek.v14i01.362>
- Alfarizy, M., & Narundana, V. T. (2023). OPTIMALISASI MANAJEMEN PRODUKSI CENDOL PANDAN TEBET JAKARTA UNTUK MENINGKATKAN KESEJAHTERAAN UMKM KULINER LOKAL. *Jurnal Abdimas Sangkabira*, 3(2), 249–256. <https://doi.org/10.29303/abdimassangkabira.v3i2.571>
- Alidina, D., Arga, E., Ridwan, K. A., Zurohaina, Z., & Syakdani, A. (2022). Analisis Sistem Termal Pada Double Drum Water Tube Boiler Untuk Memproduksi Superheated Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Gas. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(1), 553–560. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.132>
- Amalia, R., Dharmawan, A. H., Prasetyo, L. B., & Pacheco, P. (2019). Perubahan Tutupan Lahan Akibat Ekspansi Perkebunan Kelapa Sawit: Dampak Sosial, Ekonomi dan Ekologi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 130. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.130-139>
- Ardana, B. S., Akbar, A. A., & Pramesti, Y. S. (2021). *Rancang Bangun Alat Konduktivitas Thermal Logam*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244969379>
- Assagaf, S. C. Y., & Dotulong, L. O. H. (2015). *PENGARUH DISIPLIN, MOTIVASI DAN SEMANGAT KERJA TERHADAP PRODUKTIVITAS KERJA PEGAWAI DINAS PENDAPATAN DAERAH KOTA MANADO*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:266206459>
- Atmaja, H. J., Kamal, S., & Sugiyono, S. (2020). Simulasi Numerik Prediksi Erosi Aliran Fasa Cair-Gas Berpasir Pada Belokan Pipa Sumur Minyak Mentah Menggunakan Model Finnie, McLaury dan Oka. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 2(1), 47. <https://doi.org/10.22146/jmdt.53724>
- Baldani, A. M., & Taali, T. (2020). Pecancangan Sistem Kontrol Sterilizer Vertical Kelapa Sawit Berbasis Arduino UNO. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro*

- Dan Vokasional*), 6(2), 87. <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i2.108537>
- Cahyaningdias, R., & Putra, A. B. K. (2020). Studi Numerik Perpindahan Panas Konveksi Paksa pada Pin Fin Berpenampang Circular dengan Susunan Aligned. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.46661>
- Edi Siswanto, J., & A, T. (2023a). ANALISIS KEBUTUHAN UAP PADA STASIUN STERILIZER DI PABRIK KELAPA SAWIT. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(2), 12–22. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.2>
- Edi Siswanto, J., & A, T. (2023b). ANALISIS KEBUTUHAN UAP PADA STASIUN STERILIZER DI PABRIK KELAPA SAWIT. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(2), 12–22. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.2>
- Ellitan, L., & Anatan, S. E. M. S. L. (2007). *Manajemen Operasi dalam Era Baru Manufaktur*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:169008732>
- Fachrudin, A. R. (2020). PENGARUH PANJANG KONDENSOR TERHADAP KINERJA TERMAL HEAT PIPE. *Jurnal INTEKNA : Informasi Teknik Dan Niaga*, 20(01), 47–52. <https://doi.org/10.31961/intekna.v20i01.815>
- Fatimang, S. (2019). RANCANG BANGUN STERILISATOR BAKTERI PADA UDARA BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO. *Jurnal Teknologi Elektroika*, 16(2), 63. <https://doi.org/10.31963/elekterika.v16i2.2002>
- Gates, D. M. (1980). *Conduction and Convection* (pp. 268–306). https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6024-0_9
- Hadza, R. Q. (2021). *KEBUTUHAN ENERGI DALAM TUBUH*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:242889292>
- Hamid, H. (2016). MODEL PERAMBATAN PANAS SECARA MATEMATIKA PADA PROSES PEMANASAN KUE BAGEA KENARI. *Delta-Pi: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 1(2). <https://doi.org/10.33387/dpi.v1i2.84>
- Hasbi, H., Zainabun, Z., & Jufri, Y. (2021). Pengaruh Penggunaan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Perubahan Sifat Kimia Ultisol dan Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(4), 637–645.

<https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i4.18282>

Herawati, H., Kusnandar, F., & Adawiyah, D. R. (2014). *TEKNOLOGI PROSES PRODUKSI BERAS TIRUAN MENDUKUNG DIVERSIFIKASI PANGAN*.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:107904050>

Hidayati. (2020). PENGENDALIAN HAMA KELAPA SAWIT (ELAIES GUINNESSIS JACQ) DI PT. BUMI PALMA LESTARI, BAGAN JAYA KECAMATAN ENOK KABUPATEN INDRAGIRI HILIR – RIAU. *JURNAL AGRO INDRAGIRI*, 6(2), 42–47.

<https://doi.org/10.32520/jai.v6i2.1468>

Hidjrawan, Y., Irwanda, I., & Marlinda, M. (2022). Pengukuran Beban Kerja Operator Boiler Berdasarkan Denyut Nadi Melalui Pendekatan Fisiologis di PT. Beurata Subur Persada. *Jurnal Optimalisasi*, 8(1), 106.

<https://doi.org/10.35308/jopt.v8i1.5346>

Mahyunis, Syukri, M., & Bimantoro, B. S. (2023). Penerapan SMK3 untuk Mencegah Penyakit Akibat Kebisingan di Stasiun Sterilizer pada Pabrik Kelapa Sawit. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 2(2), 54–62.

<https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i2.58>

Masruroh, L., & Mardesci, H. (2021a). PROSES PEREBUSAN TBS KELAPA SAWIT PADA STASIUN STERILIZER (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *JURNAL TEKNOLOGI PERTANIAN*, 10(1), 43–48.

<https://doi.org/10.32520/jtp.v10i1.1282>

Masruroh, L., & Mardesci, H. (2021b). PROSES PEREBUSAN TBS KELAPA SAWIT PADA STASIUN STERILIZER (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *JURNAL TEKNOLOGI PERTANIAN*, 10(1), 43–48.

<https://doi.org/10.32520/jtp.v10i1.1282>

Maulana Rizki Nov, & Bustani, S. (2023). PERLINDUNGAN HUKUM HAK PATEN ALAT STERILISASI UNTUK PENGOLAHAN TANDAN-TANDAN KELAPA SAWIT. *Reformasi Hukum Trisakti*, 5(3), 703–714.

<https://doi.org/10.25105/refor.v5i3.16789>

Miswar, M. (2017). TEORI PEMBELAJARAN CBSAK SEBAGAI SEBUAH TEORI ALTERNATIF. *Jurnal Basicedu*, 1(2), 32–41.

<https://doi.org/10.31004/basicedu.v1i2.162>

- Ozisik, M. N. (1984). *Heat Transfer: A Basic Approach*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:136713733>
- Pesulima B., Sitepu, T., Napitupulu, F. H., Syahril Gultom, & Pramio G. Sembiring. (2017). ANALISA EFISIENSI WATER TUBE BOILER BERBAHAN BAKAR FIBER DAN CANGKANG DI PALM OIL MILL DENGAN KAPASITAS 45 TON TBS/JAM. *DINAMIS*, 5(3), 8.
<https://doi.org/10.32734/dinamis.v5i3.7073>
- Rahardja, I. B., Mahfud, A., & Bawana, P. D. (2021). *PENGARUH PENGGUNAAN BOILER 20 TON UAP/JAM TERHADAP KENAIKAN KAPASITAS PABRIK 40 TON/JAM PABRIK MINYAK KELAPA SAWIT (PMKS) XYZ*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:239643995>
- Roni, K. A. (2021a). ANALISIS PENGARUH RASIO SERABUT DAN CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA BOILER. *Jurnal Redoks*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.31851/redoks.v6i1.5230>
- Roni, K. A. (2021b). ANALISIS PENGARUH RASIO SERABUT DAN CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA BOILER. *Jurnal Redoks*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.31851/redoks.v6i1.5230>
- Sandra, E. (2021). PERBANDINGAN GAYA GESEK FLUIDA/STOKES ANTARA PELUMAS BARU DAN PELUMAS BEKAS. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 8(1), 85. <https://doi.org/10.35449/teknika.v8i1.182>
- Setiana, E., & Rahayu, D. D. (2012). *ANALISIS PENGARUH STRUKTUR MODAL TERHADAP KINERJA PADA PERUSAHAAN OTOMOTIF YANG TERDAFTAR DI BEI TAHUN 2008-2010*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:170295501>
- Setiawan, A., & Yusuf, M. (2021). Unburnt Analysis Terhadap Proses Pembakaran Ketel Uap Jenis Water Tube Boiler Kapasitas 15 TPH Berbahan Bakar Serat dan Cangkang Kelapa Sawit. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 5(2), 5.
<https://doi.org/10.29103/mjmst.v5i2.5822>
- Shofiyani, A., & Damajanti, N. (2017). *PENGEMBANGAN METODE STERILISASI PADA BERBAGAI EKSPAN GUNA MENINGKATKAN KEBERHASILAN KULTUR KALUS KENCUR (Kaemferia galangal L)*.

- <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:171962626>
- Sitepu, T. (2011). *ANALISA KEBUTUHAN UAP PADA STERILIZER PABRIK KELAPA SAWIT DENGAN LAMA PEREBUSAN 90 MENIT*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108999356>
- Sitorus, T. P. (2020). *Analisa Perawatan Mesin Sterilizer Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada PT. Djaja Putra Indonesia Kabupaten Asahan*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:229152966>
- Sulistiani, S., Fitriana, N. E., & Nurwanti, W. (2021). STERILISASI ALAT KEDOKTERAN GIGI DENGAN STERILISATOR (DRY HEAT) DAN TEKNIK BOILING. *JDHT Journal of Dental Hygiene and Therapy*, 2(1), 34–38. <https://doi.org/10.36082/jdht.v2i1.221>
- Suoth, V. A., Kolibu, H. S., Mosey, H. I. R., & Kulon, T. M. J. (2019). Kajian Eksperimen Perbandingan Nilai Konduktivitas Bahan Kuningan, Baja Tahan Karat, dan Aluminium Menggunakan PASCO Heat Conduction Apparatus TD-8513. *Jurnal MIPA*, 8(2), 47. <https://doi.org/10.35799/jm.8.2.2019.23515>
- Supu, I., Usman, B., Basri, S., & Sunarmi, S. (2017). *PENGARUH SUHU TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA MATERIAL YANG BERBEDA*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:186572165>
- Susilo, E. J., Dharma, U. S., & Irawan, D. (2021). Pengaruh viskositas bahan bakar terhadap karakteristik aliran fluida pada pompa sentrifugal. *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 2(1), 27–32. <https://doi.org/10.24127/armatur.v2i1.740>
- Syarifuddin, S., Melinda Pane, A., & Muzakir, M. (2021). ANALISIS BEBAN KERJA OPERATOR BAGIAN BOILER DENGAN LINGKUNGAN KERJA FISIK DI PT. PERKEBUNAN NUSANTARA III PKS SISUMUT. *Industrial Engineering Journal*, 10(1).
<https://doi.org/10.53912/iejm.v10i1.623>
- Tambunan, W., & Muslimin, M. (2018). Kajian Paparan Panas Lingkungan Kerja Operator Sterilizer Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit. *Tekinfo: Jurnal Ilmiah Teknik Industri Dan Informasi*, 7(1), 31–37. <https://doi.org/10.31001/tekinfo.v7i1.367>
- Tantawizal, T., Inayati, A., & Prayogo, Y. (2003). *ISU GLOBAL KEAMANAN*

PANGAN KACANG TANAH II: PROTEIN Ara h SEBAGAI ALERGEN.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:92329335>

Tonglo, R. L. (2020). *pemuridan kontekstual.*
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:242444471>

Utama, M. F. A. (2021). KALKULASI KEBUTUHAN UDARA PEMBAKARAN PADA TURBIN GAS PG-9001A SEBAGAI PENYEDIA PANAS UNTUK PEMBANGKITAN STEAM DI HRSG B-9203A BERDASARKAN KONDISI FIRED MODE. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, 18(02). <https://doi.org/10.30811/jstr.v18i02.2250>

Vazri Muharom, & Rifky. (2022). Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric. *METALIK: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 1(1), 8–15. <https://doi.org/10.22236/metalik.v1i1.8464>

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap
Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT GUNAS GROUP
Nama : M Iqbal Lubis
Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	27/5/2024	perbaiki format penulisan perbaiki bab I, B, III	f
2.	11/6/2024	lengkap bab II perbaiki bab I	f
3.	14/6/2024	Tambahan persamaan momen berenti di bab II	f
4.	19/6/2024	ACC sampul sampul	f
5.	18/7-2024	Perbaiki bab I	f
6.	21/8-2024	Lampiran bab IV, V	f
7.	21/10-2024	ACC sampul	f
8.	10/3-2025	perbaiki format penulisan	f
9.	15/3-2025	Persiapan buku sidang	f
10.	15/3-2025	ACC Sidang Sarjana	f

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 1298/IL3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 27 Desember 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : M. IQBAL LUBIS
Npm : 2007230037
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VII (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH TEBAL DINDING ISOLASI TERHADAP PERPINDAIAN PANAS PADA STERILIZER DI PT. GUNAS GROUP

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 14 Jumadil Akhir 1445 H
27 Desember 2023 M

Dekan

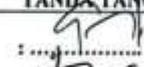
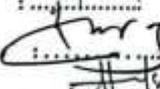
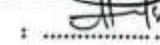
Munawar Chusairy Siregar, ST, MT
NIDN: 0101017202



**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

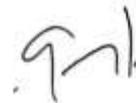
Nama : M. Iqbal Lubis
 NPM : 2007230037
 Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT Gunas Group

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT	: 
Pemanding – I : Dr Munawar Siregar ST.MT	: 
Pemanding – II : Arya Rudi Nst ST.MT	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan 28 Sya'ban 1446 H
27 Februari 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

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

Nama : M. Iqbal Lubis
NPM : 2007230037
Judul Tugas Akhir : Analisis Pengaruh Tebal Dinding Isolasi Terhadap Perpindahan Panas Pada Sterilizer Di PT Gunas Group

Dosen Pembanding – I : Dr Munawar Siregar ST.MT
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi Nst ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT

KEPUTUSAN

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

.....
.....*Perbaikan sesuai Catatan Sem. ke-3*.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 28 Sya'ban 1446 H
27 Februari 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- 1



Dr Munawar Siregar ST.MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : M Iqbal Lubis
NPM : 2007230037
Tempat, Tanggal Lahir : Pematang Siantar, 12 Maret 2002
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Status Perkawinan : Belum Kawin
Alamat : JL. S.M Raja Gg Mesjid No11, Medan
Nomor HP : 083196055534
E-Mail : iqballubis531@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : M Najib Lubis
Ibu : Ade Sri Wahyuni Pane

PENDIDIKAN FORMAL

1. SDS Harapan 1 Medan : Tahun 2008-2014
2. SMPS Harapan 2 Medan : Tahun 2014-2017
3. SMAS Harapan Mandiri : Tahun 2018-2020
4. Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara : Tahun 2020-2025