

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA ISOLASI DINDING  
STERILIZER KELAPA SAWIT KAPASITAS 30 TON/JAM**

**SKRIPSI**

**BINSAR HALOMOAN TAMBA**

**NPM. 178130083**



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

**MEDAN**

**2022**

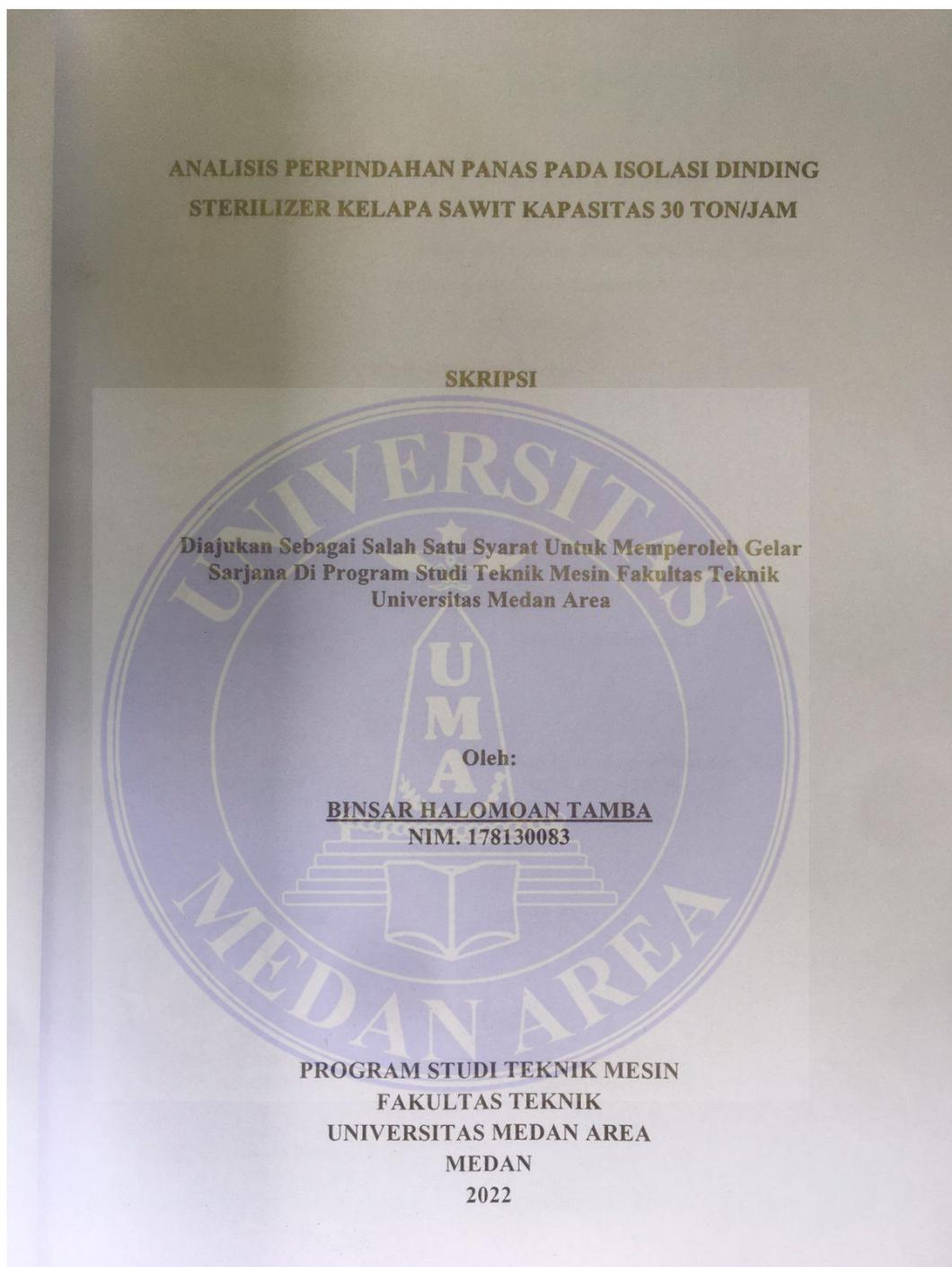
**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 17/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)17/6/22



### HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas Pada Isolasi Dinding  
Sterilizer Kelapa Sawit Kapasitas 30 Ton/Jam

Nama Mahasiswa : Binsar Halomoan Tamba  
NIM : 178130083  
Bidang Keahlian : Konversi Energi  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Muhammad Idris, ST, MT)  
NIDN. 0106058104

(Ir. H. Amirsyam Nasution, MT)  
NIDN. 0025125606

Diketahui Oleh:

Dekan Fakultas Teknik

Kaprodi Teknik Mesin



(Muhammad Syah, S.Kom., M.Kom)  
NIDN. 0105055804

(Muhammad Idris, ST, MT)  
NIDN. 0106058104

Tanggal Lulus: 08 Februari 2022

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Binsar Halomoan Tamba

NIM : 178130083

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan hasil jiplakan/plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atau hukuman atas perbuatan tersebut.

Medan, 21 Februari 2022

Saya yang membuat pernyataan



Binsar Halomoan Tamba  
NIM. 178130083

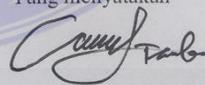
**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN  
AKADEMIS**

Sebagai civitas akademis Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Binsar Halomoan Tamba  
NIM : 178130083  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul Analisis Perpindahan Panas Pada Isolasi Dinding Sterilizer Kelapa Sawit Kapasitas 30 Ton/Jam dengan bebas royalti non eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dan bentuk perangkat data (database), merawat dan mempublikasi tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Medan, 21 Februari 2022  
Yang menyatakan



(Binsar Halomoan Tamba)  
NIM. 178130083

## RIWAYAT HIDUP



Binsar Halomoan Tamba lahir di Tanjungbalai, Kecamatan Datuk Bandar, Kota Tanjungbalai, Sumatera Utara pada tanggal 19 Juni 1999, anak kelima dari enam bersaudara, dari pasangan ayah bernama Oscar Tamba dan Ibu bernama Remida Sibarani. Pada tahun 2005 penulis masuk sekolah dasar di SD Negeri 132408 Tanjungbalai dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun 2011 melanjutkan sekolah di SMP Negeri 5 Tanjungbalai dan lulus pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan sekolah di SMA Negeri 2 Tanjungbalai dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Universitas Medan Area, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin. Syukur pada tahun 2022 penulis menyelesaikan pendidikan di Universitas Medan Area dengan gelar Sarjana Teknik.

## ABSTRAK

Perpindahan panas adalah perpindahan energi yang diakibatkan oleh perbedaan suhu. Transfer energi sebagai panas merupakan suatu sistem dimana sistem dengan suhu lebih tinggi berpindah ke sistem yang memiliki suhu yang lebih rendah. Penelitian ini merupakan penelitian yang menganalisis perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam. Penelitian dilakukan pada pabrik kelapa sawit PTPN IV Adolina yang dilakukan dengan metode studi literature, observasi dan pengumpulan data lapangan. Perpindahan panas adalah perpindahan energi yang diakibatkan oleh perbedaan suhu. Transfer energi sebagai panas merupakan suatu sistem dimana sistem dengan suhu lebih tinggi berpindah ke sistem yang memiliki suhu yang lebih rendah. Penelitian ini merupakan penelitian yang menganalisis perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam. Penelitian dilakukan pada pabrik kelapa sawit PTPN IV Adolina yang dilakukan dengan metode studi literature, observasi dan pengumpulan data lapangan. Hasil penelitian diperoleh adalah kalor yang diserap oleh dinding sterilizer 70,443kJ/Jam dan kalor yang diserap oleh tandan buah segar pada setiap perebusan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Adolina adalah sebesar 5.225 kJ. Jumlah panas (kalor) yang diserap oleh sterilizer di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Adolina adalah sebesar 5.295,443Kj/Jam. Sedangkan untuk laju perpindahan panas konduksi pada sterilizer adalah sebesar Dengan demikian diketahui laju perpindahan panas konduksi pada sterilizer adalah sebesar 1.130,871 W/m°C. Energi yang masuk pada peak I adalah sebesar 198.863, 778 kJ, pada peak II sebesar 321.421,90 kJ dan pada peak III sebesar 381.529,26 kJ. Efisiensi kerja pada sterilizer sebesar 75,17%, dan faktor-faktor yang mempengaruhi perpindahan kalor secara konduksi adalah panjang benda, luas permukaan benda, jenis benda dan perbedaan suhu.

**Kata Kunci : Perpindahan panas, isolasi dinding sterilizer, efisiensi sterilizer**

### **ABSTRACT**

*Heat transfer is the transfer of energy due to a temperature difference. Energy transfer as heat is a system in which a system with a higher temperature moves to*

*a system with a lower temperature. This study is a study that analyzes heat transfer on the insulation wall of a palm oil mill sterilizer with a capacity of 30 tons/hour. The study was conducted at the PTPN IV Adolina palm oil mill which was carried out using literature study, observation and field data collection methods. Heat transfer is the transfer of energy caused by temperature differences. Energy transfer as heat is a system in which a system with a higher temperature moves to a system with a lower temperature. This study is a study that analyzes heat transfer on the insulation wall of a palm oil mill sterilizer with a capacity of 30 tons/hour. The research was conducted at the PTPN IV Adolina palm oil mill which was carried out using literature study, observation and field data collection methods. The results obtained are the heat required by the sterilizer is 70,443kJ/hour and the heat absorbed by fresh fruit bunches on each boiling at the Adolina Palm Oil Mill (PKS) is 5,225 kJ. The amount of heat absorbed by the sterilizer at the Adolina Palm Oil Mill (PKS) is 5,295.443Kj/hour. Meanwhile, the rate of conduction heat transfer in the sterilizer is 1,130.871 W/m°C. The incoming energy at peak I is 198.863, 778 kJ, at peak II is 321,421.90 kJ and at peak III is 381,529.26 kJ. The work efficiency of the sterilizer is 75.17%, and the factors that affect the conduction heat transfer are the length of the object, the surface area of the object, the type of object and the temperature difference.*

**Keywords:** *Heat transfer, sterilizer wall insulation, sterilizer efficiency*

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karuniaNya yang telah dianugerahkan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Adapun judul skripsi ini yaitu “**Analisis Perpindahan Panas Pada Isolasi Dinding Sterilizer Kelapa Sawit Kapasitas 30 Ton/Jam**”.

Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng. MSc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Ibu Susilawati, S.Kom, M.Kom., selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Muhammad Idris, ST, MT., selaku Ketua Prodi Teknik Mesin sekaligus dosen pembimbing I
5. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, MT selaku dosen Pembimbing II
6. Bapak dan Ibu Dosen, serta pegawai di Fakultas Universitas Medan Area.
7. Seluruh staf karyawan tersebut terimakasih telah membantu selama pemberkasan skripsi ini.
8. Teristimewa ucapan terimakasih penulis kepada kedua orang tua yang sangat penulis sayangi dan cintai yakni Ayahanda O. Tamba dan Ibunda R.

Sibarani yang selalu mendukung penulis, menjadi penopang disetiap proses kehidupan yang penulis lewati selalu memberi semangat, doa, serta bantuan moril maupun materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan. Kiranya Tuhan selalu memberkati kalian.

9. Kepada sahabat-sahabat penulis Putra Aksido Silalahi, William Siregar, Uwik Gulo, Ruthmaida Sitompul, Anggiat Nainggolan, Dian Andriani Nainggolan, Nifan Renal Simbolon, Rikardo Silalahi yang selalu ada.

10. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas doa dan dukungannya.

Semoga bantuan dan jasa baik yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis menyadari bahwa di dalam menyusun skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dengan kerendahan hati, penulis sangat mengharapkan berbagai pandangan, saran, dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Medan, Februari 2022

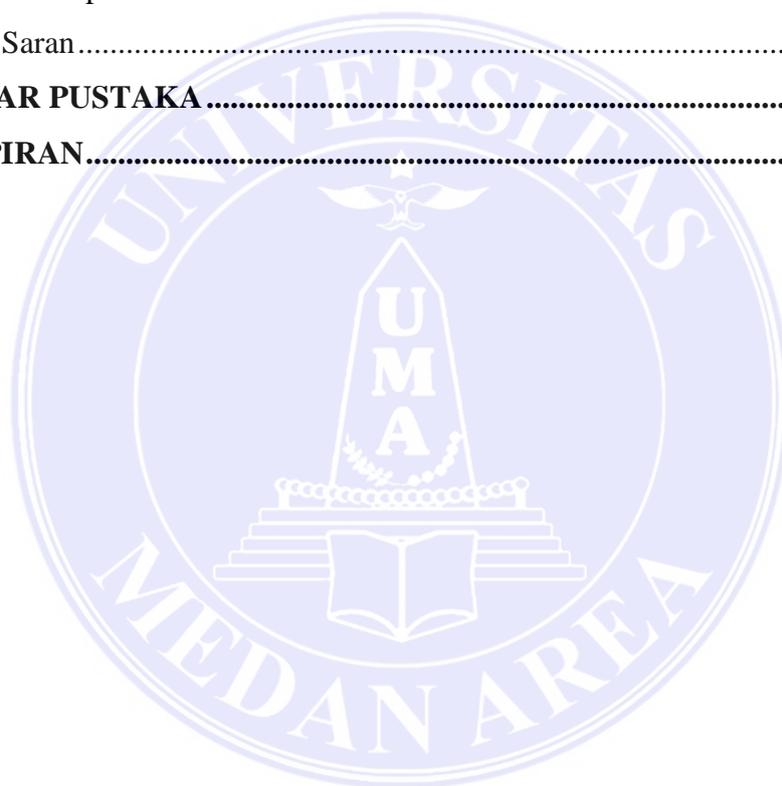
Binsar Halomoan Tamba  
NIM. 178130083

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>ii</b>

<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Perumusan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
A. Penelitian Terdahulu .....	6
B. Kerangka Teori.....	8
1. Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit .....	8
2. Sterilizer .....	11
3. Mekanisme Perebusan Pada Sterilizer .....	12
4. Perpindahan Panas ( <i>Heat Transfer</i> ) pada Ketel Rebusan ( <i>Sterilizer</i> ) .....	18
5. Efisiensi Sterilizer.....	20
6. Perpindahan Kalor.....	22
7. Isolator.....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
A. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
B. Metode Penelitian.....	30
C. Rancangan Penelitian .....	31
D. Prosedur Penelitian.....	32
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
A. Data PT Nusantara IV (Persero) PKS Unit Adolina .....	33
B. Kalor yang Diserap oleh Dinding <i>Sterilizer</i> .....	33
C. Kalor yang Diserap oleh TBS .....	34

D.	Kalor yang Dibutuhkan Sterilizer .....	35
E.	Efisiensi <i>Sterilizer</i> .....	35
F.	Perpindahan Panas Konduksi .....	36
G.	Energi Masuk .....	37
H.	Energi Keluar .....	40
I.	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perpindahan Panas .....	40
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>42</b>
A.	Kesimpulan.....	42
B.	Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>44</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>46</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Sterilizer .....	37
-----------	-----------------------	----



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Rancangan Penelitian.....	31
Gambar 4.1 Pintu Sterilizer .....	35
Gambar 4.2 Boiler .....	37
Gambar 4.3 Isolator .....	37



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan industri pada era teknologi sekarang ini, Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) mempunyai peranan penting dalam kemajuannya, tetapi karena negara kita saat ini sedang mengalami krisis ekonomi pengembangan IPTEK menjadi terlambat, hanya beberapa sektor yang bisa terus berkembang untuk menopang perekonomian kita, yang salah satunya adalah sektor perkebunan terutama kelapa sawit, Indonesia merupakan salah satu pengeksport sawit terbesar di dunia [1].

Peningkatan penggunaan minyak menjadikan komoditi kelapa sawit sebagai salah satu sumber devisa negara yang utama dari non migas. Untuk itu perlu adanya usaha pengembangan budidaya kelapa sawit serta pembangunan pabrik pengolahan kelapa sawit, karena hal ini merupakan salah satu usaha dalam peningkatan pembangunan nasional dan juga pendapatan negara [2].

Keperluan diatas dibutuhkan sumber daya manusia (SDM) yang berkualitas. IPTEK juga memegang peranan penting yang mampu untuk mengoptimalkan peralatan pengolahan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) sehingga memperoleh kapasitas produksi yang dapat memenuhi jumlah dan kualitas yang standar [2].

Pabrik Kelapa Sawit selanjutnya disebut (PKS) adalah alat pengolah Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) adalah tumbuhan industri penting penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar (biodiesel).

Komoditas perkebunan kelapa sawit menghasilkan keuntungan besar sehingga banyak hutan dan perkebunan lama dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit. Indonesia adalah penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia [3].

Pengolahan Kelapa sawit merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan usaha perkebunan kelapa sawit. Hasil utama yang dapat diperoleh adalah minyak sawit, inti sawit, sabut, cangkang dan tandan kosong. Pabrik kelapa sawit (PKS) dalam konteks industri kelapa sawit di Indonesia dipahami sebagai unit ekstraksi *crude palm oil* (CPO) dan inti sawit dari tandan buah segar (TBS) kelapa sawit. PKS tersusun atas unit-unit proses yang memanfaatkan kombinasi perlakuan mekanis, fisik, dan kimia. Kualitas hasil minyak CPA yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh kondisi buah (TBS) yang diolah dalam pabrik. Sedangkan proses pengolahan dalam pabrik hanya berfungsi menekan kehilangan dalam pengolahannya, sehingga kualitas CPO yang dihasilkan tidak semata-mata tergantung dari TBS yang masuk ke dalam pabrik [3].

Pada prinsipnya proses pengolahan kelapa sawit adalah proses ekstraksi CPO secara mekanis dari tandan buah segar kelapa sawit (TBS) yang diikuti dengan proses pemurnian. Secara keseluruhan proses tersebut terdiri dari beberapa tahap proses yang berjalan secara kesinambungan dan terkait satu sama lain. Kegagalan pada satu tahap proses akan berpengaruh langsung pada proses berikutnya. Oleh karena itu setiap tahap proses harus dapat berjalan dengan lancar sesuai dengan norma-norma yang ada [4].

Tandan Buah Segar selanjutnya disebut (TBS) yang cukup besar dan mahal harganya. Untuk mendapatkan hasil pengolahan yang optimal dibutuhkan tindakan

atau pekerjaan yang besar untuk setiap langkah proses atau setiap stasiun. PKS dioperasikan dalam suatu rangkaian proses yang kontinu, hasil proses instalasi atau stasiun sebelumnya dilanjutkan ke instalasi atau stasiun berikutnya tanpa dapat merubah mutu tetapi hanya melanjutkannya. Kesalahan pada satu stasiun akan berakibat buruk pada stasiun berikutnya [5].

Baik buruknya mutu dan jumlah hasil oleh suatu PKS terutama ditentukan oleh keberhasilan pada stasiun rebusan. Karena stasiun ketel rebusan (*sterilizer*) adalah stasiun pertama tandan buah sawit mengalami proses pengolahan. Kalau pada stasiun ini gagal atau tidak berhasil maka akan berakibat buruk pada stasiun selanjutnya, sehingga stasiun ketel rebusan (*sterilizer*) ini merupakan kunci utama keberhasilan pengolahan tandan buah sawit, oleh sebab itu merebus buah harus sesuai dengan ketentuan yang ada [5].

Daya tarik penulis untuk menulis topik ini karena penulis ingin mempelajari lebih lanjut tentang pemindaian panas (*heat transfer*) dari boiler sampai ke buah sawit yang merupakan awal proses dari pengolahan kelapa sawit. Alasan berikutnya karena ketel rebusan (*sterilizer*) mempunyai peranan yang penting dalam menentukan keberhasilan proses pengolahan kelapa sawit pada pabrik kelapa sawit yang mengolah tandan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) di PTPN IV Adolina Perbaungan.

## B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam PTPN IV Adolina Perbaungan.

## C. Perumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam pada pabrik kelapa sawit PTPN IV Adolina Perbaungan?
2. Bagaimana kesetimbangan energi pada proses perebusan kelapa sawit pada PKS PTPN Adolina?
3. Apa faktor-faktor yang mempengaruhi panas pada isolasi dinding sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam.

## D. Tujuan Penelitian

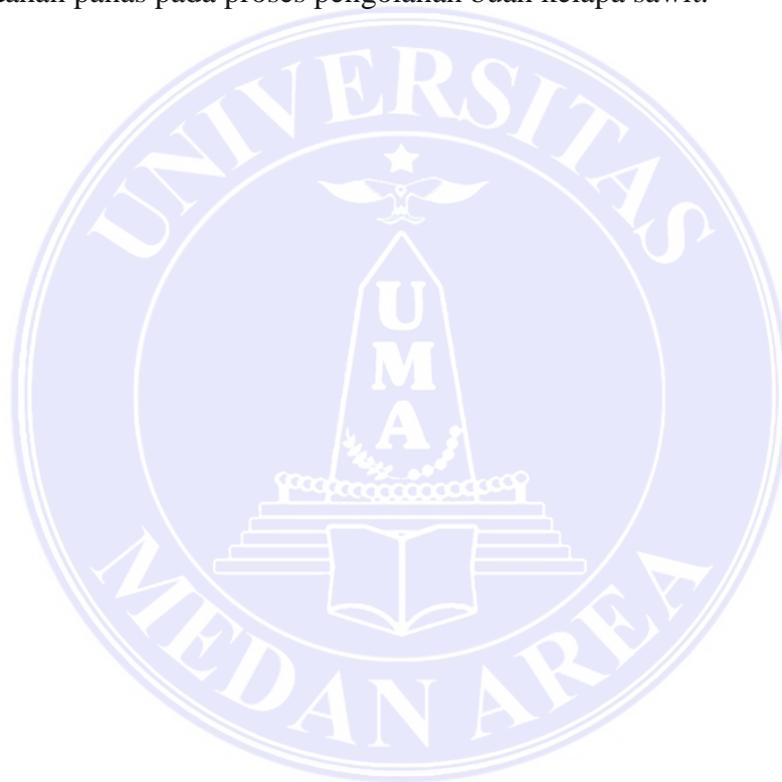
Berdasarkan penjelasan diatas yang telah diuraikan maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis perpindahan panas pada isolasi dinding sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam pabrik kelapa sawit PTPN IV Adolina Perbaungan.
2. Menaganalisis kesetimbangan energi pada proses perebusan kelapa sawit pada PKS PTPN Adolina.

3. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi panas pada isolasi dinding sterilizer kelapa sawit kapasitas 30 ton/jam.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk menambah wawasan mengenai pengaruh tebal dinding isolasi sterilizer dan perpindahan panas pada proses pengolahan buah kelapa sawit.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Penelitian Terdahulu**

Penelitian yang dilakukan oleh Sulaiman dan RM Randa (2018) yang berjudul “Pengaruh Temperatur terhadap Efisiensi Sterilizer dan Kualitas Minyak yang Dihasilkan”, menunjukkan bahwa 1) Efisiensi dari sterilizer dipengaruhi oleh laju aliran massa juga perbedaan temperatur uap masuk, uap keluar dan air kondensat; 2) Jika laju aliran massa uap masuk, uap keluar dan air kondensat semakin besar maka efisiensi dari sterilizer akan kecil; 3) Jika temperatur uap masuk  $120^{\circ}\text{C}$  dan  $130^{\circ}\text{C}$  maka semakin kecil laju aliran massa masuk dan keluar maka efisiensi sterilizer semakin besar; 4) Jika temperatur uap masuk  $140^{\circ}\text{C}$  laju aliran massa tidak terlalu mempengaruhi laju aliran massa; 5) Jika panas masuk ke sterilizer besar maka panas keluar akan besar juga kecuali pada temperatur ini pemasakan lebih konstan; 6) Kadar air akan berbanding lurus dengan kadar ALB dan berbanding terbalik dengan Rendemen; dan 7) Kualitas minyak sawit yang dihasilkan cukup bersih untuk disimpan dan tahan lama.[6]

Penelitian yang dilakukan oleh Amirsyam Nasution, Muksin R. Harahap dan Wisnu Pradana (2020) yang berjudul “Analisa Pengaruh Tebal Dinding dan Isolasi Terhadap Perpindahan Panas pada Sterilizer”, menunjukkan bahwa dalam sterilizer buah kelapa sawit direbus dengan uap pada suhu dan tekanan serta waktu tertentu. Jika persyaratan di atas tidak terpenuhi, maka efisiensi produksi dari CPO yang dihasilkan mungkin tidak mampu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI 01-2901-2006. Oleh karena itu, analisa perlu dilakukan

pada sterilizer. Hasil yang didapatkan dari analisis perpindahan panas pada Sterilizer Crude Palm Oil di PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) yaitu efisiensi panas, losses, perubahan energi dalam dan *transient conduction*. Efisiensi panas tertinggi terdapat pada peak I sebesar 0,846277. Losses terendah di peak III sebesar 51,765kJ.[7]

Penelitian yang dilakukan oleh Oksya Hikmawan dan Ria Angelina (2019) yang berjudul “Pengaruh Variasi Waktu dan Tekanan terhadap Kehilangan Minyak pada Air Kondensat di Unit Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit”, menunjukkan bahwa hubungan waktu perebusan dengan efisiensi ekstraksi minyak adalah semakin lama perebusan buah maka jumlah buah yang terpipil semakin tinggi, biji semakin masak dan menghasilkan biji yang lebih mudah pecah dan sifat leang, kehilangan minyak pada air kondensat semakin tinggi dan kandungan minyak dalam tandan kosong semakin tinggi karena terjadinya penyerapan minyak oleh tandan kosong akibat terdapatnya rongga-rongga kosong pada tandan kelapa sawit. Variasi waktu dan tekanan pada proses perebusan sangat berpengaruh terhadap kehilangan minyak yang terdapat pada air kondensat.[8]

Penelitian yang dilakukan oleh Ripaldy Situmeang (2018) yang berjudul “Pengaruh Waktu Perebusan terhadap Kadar Minyak Sawit dalam Air Rebusan pada Kodensat di PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Unit Kebun Pabatu Tebing Tinggi”, menunjukkan bahwa kadar minyak adalah 0,86-0,89 % (g/g). Data tersebut melebihi persentase standart normal dari kehilangan minyak kelapa sawit pada air rebusan 0,30-0,60% (g/g).[9]

Penelitian yang dilakukan oleh Heri Purwanto dan Ika Ucha P. Rangkuti (2020) yang berjudul “Pengukuran Kuantitas Uap Masuk Rebusan Secara Tidak Langsung Menggunakan Grafik Rototherm”, menunjukkan bahwa hasil pengukuran secara tidak langsung kuantitas uap yang masuk rebusan dengan mengukur luas area grafik perebusan tidak berpengaruh langsung terhadap persentase losses minyak di kondensat dan persentase losses minyak di tandan kosong. Penelitian perlu dilanjutkan lagi dengan meminimalkan variasi variasi yang terjadi sehingga didapatkan hasil yang lebih baik.[10]

## **B. Kerangka Teori**

### **1. Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit**

#### **a. Stasiun Penerimaan**

Hal ini sangat sederhana, sebagian besar jenis jembatan timbang sekarang menggunakan sel-sel beban, dimana tekanan beban menyebabkan variasi pada sistem listrik yang diukur. Pabrik Kelapa Sawit sekarang ini pada umumnya sudah menggunakan jembatan timbang yang terintegrasi langsung dengan sistem komputer.

Prinsip kerja dari jembatan timbang yaitu truk yang melewati jembatan timbang berhenti 5 menit, kemudian dicatat berat truk awal sebelum TBS dibongkar dan sortir, kemudian setelah dibongkar truk kembali ditimbang, selisih berat awal dan akhir adalah berat TBS yang diterima dipabrik. TBS yang telah ditimbang kemudian diterima oleh bagian *loading ramp*, untuk dilakukan penyortiran. Hal ini dilakukan untuk memisahkan antara TBS yang layak diolah atau tidak.

#### **a. Stasiun Perebusan**

Setelah disortir, TBS yang layak olah lalu dimasukkan ke dalam lori rebusan yang terbuat dari plat besi/baja berlubang-lubang (*cage*) dan langsung dimasukkan ke dalam Sterilizer yaitu bejana perebusan yang menggunakan uap air yang bertekanan antara 26.000 sampai 30.000 Kg/m<sup>2</sup>. Proses perebusan ini dimaksudkan untuk mematikan enzim-enzim yang dapat menurunkan kualitas minyak CPO. Disamping itu, juga dimaksudkan agar buah sawit mudah lepas dari tandannya (berondolan) dan memudahkan pemisahan daging buah sawit dari cangkang dan inti. Tujuan perebusan :

- Mengurangi peningkatan asam lemak bebas.
- Mempermudah proses pembrodolan pada *thresher*.
- Menurunkan kadar air
- Melunakan daging buah, sehingga daging buah mudah lepas dari biji.

b. Stasiun Kempa

Pada tahapan mesin *Thresher*, buah yang masih melekat pada tandannya akan dipisahkan dengan menggunakan prinsip bantingan, sehingga buah tersebut terlepas (kemudian ditampung dan dibawa oleh *Fruit Conveyor* ke *Digester*).

Pada stasiun ini tandan buah segar yang telah direbus siap untuk dipisahkan antara berondolan dan tandannya. Sebelum masuk kedalam *thresher* TBS yang telah direbus diatur pemasukannya dengan menggunakan *auto feeder*. Dengan menggunakan putaran TBS dibanting sehingga berondolan lepas dari tandannya dan jatuh ke *conveyor* dan *elevator* untuk didistribusikan ke *thresher* untuk pembantingan kedua kalinya. *Thresher* mempunyai kecepatan putaran 22-25 rpm. Pada bagian dalam *thresher*, dipasang batang-batang besi perantara sehingga

membentuk kisi-kisi yang memungkinkan berondolan keluar dari *thresher*. Untuk tandan kosong sendiri didistribusikan dengan *empty bunch conveyor* untuk didistribusikan ke penampungan *empty bunch*.

Berondolan yang keluar dari *thresher* jatuh ke *conveyor*, kemudian diangkat dengan *fruit elevator* ke *top cross conveyor* yang mendistribusikan berondolan ke *distributing conveyor* untuk dimasukkan dalam tiap-tiap *digester*. *Digester* adalah tangki silinder tegak yang dilengkapi pisau-pisau pengaduk dengan kecepatan putaran 25-26 rpm, sehingga brondolan dapat dicacah di dalam tangki ini. Bila tiap-tiap *digester* telah terisi penuh maka brondolan menuju ke *conveyor recycling*, diteruskan ke *elevator* untuk dikembalikan ke *digester*. Tujuan pelumatan adalah agar daging buah terlepas dari biji sehingga mudah di-press. Untuk memudahkan pelumatan buah, pada *digester* di-*inject steam* bersuhu sekitar 90-95 °C.

#### c. Stasiun Klarifikasi

Minyak yang berasal dari stasiun press masih banyak mengandung kotoran-kotoran yang berasal dari daging buah seperti lumpur, air dan lain-lain. Untuk mendapatkan minyak yang memenuhi standar, maka perlu dilakukan pemurnian terhadap minyak tersebut. Pada stasiun ini terdiri dari beberapa unit alat pengolah untuk memurnikan minyak produksi, yang meliputi : *Sand Trap Tank*, *Vibrating Screen*, *Crude Oil Tank*, *Continuous Settling Tank (CST)*, *Oil Tank*, *Purifier*, *Vacum Dryer*, *Sludge Oil Tank*, *Sludge Vibrating Screen*, *Sludge Centrifuge*, *Fat Pit*, dan *Storage Tank*.

#### d. Stasiun Pengolahan Biji

Pada stasiun ini dilakukan aktifitas pemisahan serabut dari nut, pemisahan inti dari cangkangnya dan juga pengeringan inti. Peralatan yang digunakan di stasiun ini, diantaranya: *Cake Breaker Conveyor (CBC)*, *Depericarper*, *Nut Silo*, *Ripple Mill*, *Claybath*, dan *Kernel Silo*.

## 2. Sterilizer

*Sterilizer* adalah bejana uap bertekanan yang digunakan untuk merebus TBS dengan uap (*steam*). *Steam* yang digunakan adalah *saturated steam* dengan tekanan 2,8-3,0 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 130-135<sup>0</sup>C yang diinjeksi dari *Back Pressure Vessel (BPV)* untuk mencapai perebusan dengan sistem tiga puncak (*tripple peak*).

Steam dari boiler dialirkan melalui sistem pemipaan ke Sterilizer oleh karena steam berupa fluida gas, untuk mentransportasikannya dibutuhkan tekanan. Tekanan steam diatur menggunakan kran dan di pantau dengan alat pemantau tekanan. Sehingga steam dapat sampai di Sterilizer untuk digunakan pada saat perbusan.

Sterilizer sebagai tempat pemasakan buah sawit akan mempengaruhi hasil dari minyak sawit itu sendiri. Semakin tinggi temperatur Sterilizer, pemasakan akan semakin cepat dan minyak yang dihasilkan lebih banyak. Ini dikarenakan viskositas minyak di dalam buah sawit turun jadi saat dipress mudah terpisah dari dari buah. Tetapi uap yang digunakan adalah uap jenuh yang mengandung air yang sangat banyak, ini juga menyebabkan besarnya kandungan air di dalam minyak yang dihasilkan.

### 3. Mekanisme Perebusan Pada Sterilizer

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. Sedangkan puncak ketiga bertujuan untuk mematangkan buah dan melunakkan daging buah.

Tahapan-tahapan perebusan dilakukan dengan tiga pola rebusan yaitu:

- a) Pola satu puncak (*single peak*) ialah jumlah puncak yang terbentuk selama proses perebusan ada satu puncak akibat dari tindakan pembuangan dan pemasukan uap yang tidak merubah bentuk pola rebusan selama proses perebusan satu siklus.
- b) Pola dua puncak (*double peak*) ialah jumlah puncak yang terbentuk selama proses perebusan ada 2 puncak akibat dari tindakan pemasukan dan pembuangan uap dilanjutkan dengan pemasukan uap, penahanan uap dan pembuangan uap selama proses perebusan satu siklus
- c) Pola tiga puncak (*triple peak*) ialah jumlah puncak yang terbentuk selama proses perebusan ada 3 puncak, akibat dari tindakan pemasukan dan pembuangan uap dilanjutkan dengan pemasukan uap, penahanan uap dan pembuangan uap selama proses perebusan satu siklus.

Energi yang masuk ke dalam sterilizer merupakan uap yang berasal dari *back pressure vessel*, yang dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap} \dots \dots \dots \text{(persamaan 2.1)}$$

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

$$V = V_{sterilizer} - V_{lori} - V_{TBS}$$

Untuk menghitung volume sterilizer, volume lori dan volume TBS dihitung melalui persamaan berikut:

$$V_{sterilizer} = \frac{\pi}{4} \times d_{in}^2 \times L$$

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

$$V_{TBS} = \pi \times r^2 \times L$$

Keterangan:

$E_{in}$	= Energi masuk
$m_{uap}$	= massa uap
$V$	= Volume
$d$	= jari-jari sterilizer
$L$	= Panjang
$A$	= luas penampang
$r$	= jari-jari

Faktor-faktor yang mempengaruhi perebusan antara lain sebagai berikut :

1. Tekanan uap dan lama perebusan

Tekanan uap dan lama perebusan sangat menentukan hasil perebusan yang mempengaruhi efisiensi pabrik. Tekanan uap dan lama perebusan yang tidak cukup akan mengakibatkan:

- 1) Buah kurang matang, sehingga sebagian buah sawit (brondolan) tidak lepas dari tandan yang mengakibatkan kerugian minyak dalam janjangan kosong bertambah.

- 2) Pelumatan dalam digester tidak sempurna, karena sebagian daging buah tidak lepas dari biji sehingga mengakibatkan proses penempaan tidak sempurna dan mengakibatkan kerugian minyak dalam ampas dan biji bertambah ampas (*fibre*) yang masih basah menyebabkan pembakaran dalam ketel uap tidak sempurna.
- 3) Pembakaran jangjang kosong dalam tempat pembakaran (*incinerator*) tidak sempurna, yang menyebabkan kerusakan tempat pembakaran (*incinerator*).

Sebaliknya apabila perebusan terlalu lama akan menyebabkan :

- 1) Buah menjadi memar, sehingga menyebabkan kerugian minyak dalam air rebusan (kondensat) dan jangjang kosong bertambah
  - 2) Merusak mutu minyak dan inti
  - 3) Persentase minyak pada tandan kosong akan meningkat.
2. Pembuangan udara dan air kondensat

Udara merupakan penghantar panas yang rendah. Apabila udara dalam ketel rebusan tidak dikeluarkan secara sempurna, maka akan terjadi pencampuran udara dan uap yang mengakibatkan pemindahan panas dari uap ke dalam buah tidak sempurna. Dengan demikian udara harus benar-benar dikeluarkan dari dalam ketel rebusan dengan cara :

- 1) Kran air kondensat dibuka penuh setiap hari agar diperiksa adanya kemungkinan kebocoran dan harus segera diperbaiki
- 2) Setiap minggu rebusan dibersihkan dengan minyak pelumas bekas
- 3) Melaksanakan urutan pelaksanaan lainnya

Hal-hal yang paling sering terjadi dalam rebusan ialah packing pintu bocor, untuk mencegah hal ini tindakan yang harus dilakukan pada setiap siklus:

- 1) Membersihkan seluruh buah sawit (brondolan) dan sampah-sampah yang jatuh di dalam rebusan
- 2) Packing pintu rebusan dibersihkan dan dilumasi setiap hari juga perhatikan jika terdapat kebocoran dan segera diperbaiki
- 3) Setiap 3-4 tahun rebusan direparasi untuk pemeriksaan berkala oleh Dinas Keselamatan Kerja.

Menentukan kapasitas stasiun ketel rebusan haruslah diketahui hal-hal sebagai berikut:

- 1) Lama siklus perebusan (yang dimaksud siklus perebusan ialah waktu yang diperlukan sekali merebus + interval).
- 2) Jumlah lori sekali merebus.
- 3) Isi netto per lori.
- 4) Jumlah ketel rebusan (*sterilizer*).

#### b. Tujuan Perebusan

Keberhasilan dalam proses perebusan akan mendukung kemudahan-kemudahan dalam proses selanjutnya, baik di stasiun *Threshing, Press, Digester* dan lain-lain. Fungsi dari *sterilizer* untuk melakukan proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS) sebelum diproses menjadi minyak, dengan tujuan adalah: [11].

- 1) Menghentikan aktifitas enzim

Menghentikan aktifitas enzim buah yang dipanen mengandung enzim lipase dan oksidasi yang tetap bekerja didalam buah sebelum enzim tersebut

dihentikan. Enzim Lipase bertindak sebagai katalisator dalam pembentukan asam lemak bebas (ALB) sedangkan enzim oksidasi berperan dalam pembentukan peroksida yang kemudian berubah menjadi gugus aldehid dan kation. Senyawa tersebut bila teroksidasi akan terbentuk asam lemak bebas. Jadi asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak sawit merupakan hasil kerja enzim lipase dan oksidasi. Aktifitas enzim semakin tinggi apabila buah TBS mengalami kemarau (luka). Enzim umumnya tidak aktif lagi bila dipanaskan sampai suhu  $>50^{\circ}\text{C}$ . Maka perebusan dengan suhu  $>120^{\circ}\text{C}$  sekaligus menghentikan kegiatan enzim

## 2) Melepaskan Buah dari Tandannya

Minyak dan inti sawit terdapat dalam buah, dan untuk mempermudah proses ekstraksi minyak, buah perlu dipisahkan dari tandannya. Pelepasan buah dari tandannya karena adanya hidrolisa pektin yang terjadi dipangkal buah. Jadi Hidrolisa pektin ini telah terjadi secara alami dilapangan yang menyebabkan buah membrondol. Hidrolisa pektin dapat terjadi pula didalam *sterilizer*, dengan adanya reaksi yang dipercepat oleh pemanasan. Panas dan uap didalam *sterilizer* akan meresap ke dalam buah karena adanya tekanan. Hidrolisa pektin dalam tangkai tidak seluruhnya menyebabkan pelepasan buah, oleh karena itu perlu dilakukan proses perontokan buah didalam mesin *Threshing*.

## 3) Menurunkan Kadar Air

Proses sterilisasi buah dapat menyebabkan penurunan kadar air buah dan inti, yaitu dengan cara penguapan baik dari dalam saat direbus maupun saat

sebelum dimasukkan ke *Threshing*. Interaksi penurunan kadar air dan panas dalam buah akan menyebabkan minyak sawit dari antara sel dapat bersatu dan mempunyai viskositas yang rendah sehingga mudah dikeluarkan dalam proses pengempaan (proses ekstraksi minyak)

#### 4) Melunakkan Buah

Melunakkan buah sawit perikarp (kulit buah) yang mendapatkan perlakuan panas dan tekanan akan menunjukkan sifat, dimana serat yang mudah lepas antara serat yang satu dengan yang lain. Hal ini akan mempermudah proses didalam *Digester* dan *Depericarper/Polishing*. Karena adanya panas dan tekanan tersebut maka air yang terkandung dalam inti akan menguap lewat mata biji sehingga proses pemecahan biji lebih mudah dalam Rippel Mill.

#### 5) Melepaskan Serat dan Biji

Melepaskan serat dan biji Perebusan buah yang tidak sempurna dapat menimbulkan kesulitan pelepasan serat dari biji dalam polishing drum, yang menyebabkan pemecahan biji lebih sulit dalam alat pemecah biji. Penetrasi uap yang cukup baik akan membantu proses pemisahan serat perikarp dan biji, yang dipercepat oleh proses hidrolisis. Membantu proses pelepasan inti dari cangkang Perebusan yang sempurna akan menurunkan kadar air biji hingga 15%. Kadar biji yang turun hingga 15% akan menyebabkan inti susut sedangkan tempurung biji tetap, maka terjadi inti yang lekang dari cangkang. Hal ini akan membantu proses fermentasi didalam Nut Silo, sehingga pemecahan biji dapat berlangsung dengan baik, demikian juga pemisahan inti

dan cangkang dalam proses pemisahan kering atau basah dapat menghasilkan inti yang mengandung kotoran yang lebih kecil.

6) Membantu proses pelepasan inti dari cangkang

Perebusan yang sempurna akan menurunkan kadar air biji hingga 15%. Kadar biji yang turun hingga 15 % akan menyebabkan inti susut sedangkan tempurung biji tetap, maka terjadi inti yang lekang dari cangkang. Hal ini akan membantu proses fermentasi didalam Nut Silo, sehingga pemecahan biji dapat berlangsung dengan baik, demikian juga pemisahan inti dan cangkang dalam proses pemisahan kering atau basah dapat menghasilkan inti yang mengandung kotoran yang lebih kecil.

**4. Perpindahan Panas (*Heat Transfer*) pada Ketel Rebusan (*Sterilizer*)**

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Pada ketel rebusan (*sterilizer*) terjadi perpindahan kalor (*heat transfer*) secara perambatan atau konduksi yaitu perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat ke bagian benda lain dari benda yang sama atau dari bagian benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel) tanpa terjadi perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri. Perlakuan yang terjadi pada sterilizer (ketel rebusan) ialah kalor yang diterima dinding ketel rebusan bagian dalam yang bersentuhan dengan uap akan dirambatkan kedinding ketel rebusan bagian dalam yaitu menyentuh atau berhubungan dengan TBS. Kalor yang diserap oleh dinding ketel rebusan (*sterilizer*) ini merupakan kerugian kalor pada perebusan.

a) Kalor yang diserap oleh dinding *sterilizer*

Kalor yang diserap oleh dinding *sterilizer* merupakan rugi kalor pada perebusan. Kalor yang diserap oleh *sterilizer* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_{\text{dinding}} = \frac{2\pi \times L(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.2)}$$

**K<sub>baja</sub>    k<sub>isolasi</sub>**

- Q dinding : Panas yang diserap oleh dinding sterilizer (kJ/Jam)
- L : Panjang sterilizer (m)
- T1 : Suhu uap masuk (°C)
- T2 : Suhu dinding luar isolasi (°C)
- r1 : Jari-jari sterilizer (m)
- r2 : Jari-jari sterilizer (m)
- r3 : Jari-jari luar isolasi (m)
- k<sub>baja</sub> : Konduktivitas termal baja (W/m<sup>0</sup>C)
- k<sub>isolasi</sub> : Konduktivitas termal isolasi (W/m<sup>0</sup>C).

b) Kalor yang Diserap oleh TBS

Panas yang diserap oleh dinding *sterilizer* berbeda panas yang diserap oleh Tandan Buah Segar (TBS). Panas yang diserap oleh Tandan Buah Segar dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$Q = m.C_p.\Delta T \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.3)}$$

Dimana:

- Q : Kalor yang diserap (*joule*)
- m : massa zat (kg)
- C<sub>p</sub> : kalor jenis (J/kg<sup>0</sup>C)
- ΔT : perbedaan suhu (suhu akhir – suhu awal zat) (°C)

c) Kalor yang Dibutuhkan Sterilizer

Sebelum menghitung efisiensi dari *sterilizer* harus diketahui besar kalor yang dibutuhkan *sterilizer*. Maka untuk mencari besar kalor yang dibutuhkan sterilizer adalah:

$$Q_{\text{sterilizer}} = Q_{\text{TBS}} + Q_{\text{dinding sterilizer}} \dots \dots \dots \text{(persamaan 2.4)}$$

## 5. Efisiensi Sterilizer

Efisiensi adalah ukuran yang menunjukkan bagaimana baiknya sumber-sumber daya digunakan dalam proses produksi untuk menghasilkan output. Sterilizer merupakan bejana untuk perebusan yang menggunakan steam dan tekanan 2,6-3,0 kg/cm<sup>2</sup>. Sterilizer menggunakan suhu tinggi untuk menurunkan viskositas minyak agar terlepas dari daging buah kemudian untuk mendapatkan minyak tersebut daging buah di press sehingga didapatkan minyak kelapa sawit mentah. Untuk dapat menghitung efisiensi sterilizer dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta_{\text{kt}} = \frac{Q_{\text{in}}}{Q_{\text{out}}} \times 100\%$$

$\eta_{\text{kt}}$ : Efisiensi rebusan (%)

$Q_{\text{in}}$ : Kalor yang dibutuhkan *sterilizer* (kJ/jam)

$Q_{\text{out}}$ : Kalor yang diserap oleh *sterilizer* (kJ/Jam) ..... (Persamaan 2.5)

Pada Sterilizer juga banyak terjadi permasalahan yang nantinya akan berpengaruh terhadap proses perebusan, baik saat bekerja ataupun hasil dari perebusan itu sendiri. Kerugian saat perebusan berlangsung dapat seperti berikut:

- a. Minyak yang terkandung dalam tandan kosong

Kehilangan minyak dalam tandan kosong semakin tinggi bila jumlah puncak rebusan ditambah, hal ini disebabkan oleh naik turunnya tekanan yang

membuat buah seolah-olah dikempa, hingga minyak keluar dari perikarp yang kemudian meresap ke dalam janjangan yang telah berkurang airnya. Penahan waktu puncak pada setiap sistem akan mengakibatkan jumlah minyak yang keluar dari buah yang telah masak saat direbus kandungan airnya berkurang dan kandungan minyaknya lebih mudah keluar dengan bantuan tekanan uap saat perebusan.

b. Minyak yang terkandung dalam perikarp brondolan tidak terpipil

Kehilangan minyak akibat tandan tidak terpipil untuk seluruh perlakuan tidak berbeda nyata, ini disebabkan oleh tekanan uap dalam ketel rebusan sudah optimal, sehingga brondolan sudah relative terpipil, walaupun terdapat buah yang tidak terpipil disebabkan oleh perebusannya.

c. Kehilangan minyak pada ampas

Penambahan waktu rebusan akan mempertinggi kadar minyak dalam steam keluar menyebabkan *oil losses*, hal ini disebabkan oleh lamanya TBS di masak pada tekanan tinggi sehingga viskositas minyak rendah dan mudahnya terikut pada steam yang akan keluar dari Sterilizer.

b. Kerugian biji dalam tandan kosong

Kandungan inti pada tandan yang tidak terpipil sempurna untuk seluruh perlakuan tidak beda nyata. Akan tetapi bila dilihat dari segi pengaruh jumlah puncak dan lama perebusan terhadap kadar biji. Kualitas merupakan faktor utama produsen sebelum membeli barang dan jasa, sehingga kualitas merupakan faktor utama dalam keberhasilan suatu produk dipasaran. Produsen yang baik tentu akan mempertahankan mutu supaya tidak terlalu banyak variasi. Kualitas suatu produk ditentukan oleh mutu suatu produk tersebut. Segala ciri yang mendukung

persyaratan disebut karakteristik kualitas. Ciri- ciri itu bisa berupa ukuran, fungsi, sifat kimia, daya tahan hidup dan yang lainnya.

## 6. Perpindahan Kalor

Perpindahan panas adalah ilmu untuk memprediksi perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi panas itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu

Perpindahan panas adalah perpindahan energi yang diakibatkan oleh perbedaan suhu. Transfer energi sebagai panas merupakan suatu sistem dimana sistem dengan suhu lebih tinggi berpindah ke sistem yang memiliki suhu yang lebih rendah. Perpindahan suhu ini akan berhenti apabila kedua sistem telah mencapai kesetimbangan panas. Perpindahan panas ini terjadi melalui tiga cara yaitu: konduksi, konveksi, radiasi. (Incropera, 1996)

Konduksi dapat didefinisikan sebagai perpindahan panas yang terjadi melalui medium yang diam, misalnya perpindahan panas di dalam benda padat. Sedang konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan dengan fluida yang bergerak karena adanya gradien temperatur yang disebabkan perbedaan rapat massa, misalnya dari plat ke udara. Radiasi didefinisikan sebagai perpindahan panas antara dua benda lewat pancaran gelombang elektromagnetik dan tidak membutuhkan medium perantara, misalnya panas dari sinar matahari yang sampai ke bumi. Dalam kenyataan, perpindahan panas yang terjadi merupakan gabungan antara ketiganya [12].

### c. Prinsip Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor terjadi dari suatu fluida yang temperatur lebih tinggi kepada fluida yang temperaturnya lebih rendah. Kalor yang dipindahkan diantara kedua fluida itu, besarnya sangat tergantung pada kecepatan aliran fluida, arah alirannya, sifat-sifat fisik fluida, kondisi permukaan, dan luas bidang perpindahan panas serta beda temperatur diantara kedua fluida. ada 3 macam mekanisme perpindahan kalor, yaitu: 1. Secara molekuler, yang disebut dengan perpindahan kalor konduksi. 2. Secara aliran yang disebut dengan perpindahan kalor konveksi 3. Secara gelombang elektromagnet yang disebut dengan perpindahan kalor radiasi. Dimana masing-masing sistem memiliki ciri atau karakter tertentu sesuai dengan prosesnya. Dalam suatu peristiwa, tiga cara perpindahan kalor tersebut dapat terjadi secara bersamaan [13]

#### a. Perpindahan Kalor Konduksi/Hantaran

Jika pada suatu benda terdapat gradien temperatur, maka akan terjadi perpindahan kalor serta energi dari bagian yang bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi atau hantaran. Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor yang mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan tetapi bersinggungan secara langsung (kontak langsung). Pada konduksi ini perpindahan kalor yang terjadi akibat kontak langsung antara molekul molekul dalam medium atau zat tersebut tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Untuk kebanyakan zat, perpindahan kalor secara

konduksi dengan mudah dapat dijelaskan dengan menggunakan teori partikel zat. Konduksi kalor dapat dipandang sebagai akibat perpindahan kinetik dari suatu partikel ke partikel yang lain melalui tumbukan. Akibatnya partikel-partikel tetangganya bergetar dengan energi kinetik yang besar pula. Selanjutnya partikel-partikel ini memindahkan lagi energi kinetiknya ke tetangga berikutnya, demikian seterusnya. Secara keseluruhan tidak ada perpindahan partikel di zat tersebut. Ada zat yang mudah sekali menghantarkan atau merambatkan kalor, misalnya besi, baja, perak, tembaga, aluminium dan jenis-jenis logam lainnya. Benda-benda yang mudah menghantarkan panas ini disebut dengan konduktor. Sebaliknya ada zat yang sulit merambatkan atau menghantarkan kalor, misalnya karet, plastik, kaca dan sebagainya. Zat yang sulit menghantarkan kalor ini disebut dengan isolator. Adapun contoh perpindahan kalor secara konduksi di kehidupan sehari-hari adalah pegang ujung sendok makan yang terbuat dari logam sementara ujung lainnya dipanaskan di atas lilin, maka kalor dapat merambat melalui batang logam tersebut [14]

Untuk perpindahan kalor konduksi ini dikemukakan oleh ilmuwan Prancis, I.B.I. Fourier, sebuah hubungan laju perpindahan panas konduksi  $q_k$  dalam suatu bahan dinyatakan dengan:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.6)}$$

dimana:

- $q_k$  = Laju perpindahan kalor konduksi (Watt)
- $A$  = Luas penampang ( $m^2$ )
- $K$  = Konduktivitas bahan ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )
- $dT/dx$  = Gradient temperatur terhadap jarak ( $^\circ C/m$ )

Nilai konduktivitas termal merupakan sifat fisik bahan atau zat yang sangat penting dalam pemilihan untuk suatu aplikasi proses perpindahan kalor. Nilai konduktivitas termal yang tinggi menunjukkan laju perpindahan energi yang besar dan bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi disebut konduktor sedangkan yang mempunyai harga  $K$  yang rendah disebut isolator.

#### d. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor karena berpindahnya partikel-partikel atau materi zat itu sendiri. Konveksi seringkali dikaitkan dengan mekanisme perpindahan kalor antara permukaan padat dengan fluida (cair atau gas). Misalnya, jika materi zat tersebut adalah zat cair atau gas yang berpindah adalah zat cair atau gas itu sendiri. Proses transfer energinya merupakan gabungan antar konduksi, gerakan fluida yang bersifat mencampur partikel-partikel fluida dan penyimpanan energi di dalam fluida. Jadi secara singkat mekanisme konveksi adalah melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- 1) Pertama kalor mengalir secara konduksi dari permukaan padat ke partikel-partikel fluida yang di dekatnya.
- 2) Kalor ini menaikkan temperatur fluida dan energi dalamnya. Kemudian partikel-partikel yang bertemperatur tinggi bergerak ke arah partikel-partikel yang bertemperatur lebih rendah.
- 3) Dengan demikian timbul aliran fluida dan energi secara simultan. Energi sebenarnya disimpan pula dalam partikel partikel fluida dan diangkat sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut. Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan kalor dari suatu bagian ke bagian

lain dari suatu fluida atau antar fluida ke fluida lain dengan adanya gerakan/aliran fluida-fluida tersebut, dimana perpindahan kalornya dengan arah tegak lurus terhadap arah aliran fluida. [15]

Secara umum diketahui bahwa sebuah pelat logam yang panas akan menjadi lebih cepat dingin bila ditaruh didepan kipas angin dibandingkan bilamana ditempatkan di udara. Kecepatan udara yang ditiupkan ke pelat panas ini akan mempengaruhi laju perpindahan kalor.  $T_w$  adalah temperatur permukaan pelat dan  $T_x$  adalah temperatur fluida. Apabila kecepatan di atas pelat adalah nol, maka disini kalor hanya dapat berpindah secara konduksi saja, akan tetapi bila fluida di atas pelat bergerak dengan kecepatan tertentu, maka kalor berpindah secara konveksi, dimana gradien temperatur bergantung dari laju fluida pembawa kalor. Laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh luas permukaan perpindahan kalor ( $A$ ) dan beda menyeluruh antara permukaan bidang dengan fluida, besaran  $h$  disebut koefisien perpindahan kalor konveksi yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = h \cdot A(T_A - T_\infty) \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.7)}$$

dimana:

- $q$  = Laju perpindahan kalor konveksi (Watt)
- $A$  = Luas permukaan perpindahan kalor ( $m^2$ )
- $h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
- $T_w$  = temperatur plat ( $^\circ C$ )
- $T_\infty$  = temperatur fluida ( $^\circ C$ )

Untuk keadaan yang sederhana, koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h$ ) dapat diperhitungkan secara analitis, sedangkan untuk keadaan yang rumit harus diperhitungkan dengan cara eksperimen atau percobaan. Perpindahan kalor

konveksi juga tergantung pada viskositas fluida, termasuk juga ketergantungan terhadap sifat-sifat termal fluida lainnya, seperti: konduktivitas termal, kalor spesifik, dan densitas [13].

e. Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Radiasi adalah proses dimana mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah, bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut. Cara perpindahan kalor ini melalui gelombang elektromagnetik dan dapat berlangsung walaupun diantara kedua benda tersebut terdapat ruang hampa. Setiap benda memancarkan kalor radiasi secara terus-menerus dan intensitas pancarannya bergantung pada temperatur benda dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya dan gejalanya menyerupai radiasi cahaya, memang menurut teori elektromagnetik yang membedakan keduanya adalah panjang gelombang. Suatu benda dikatakan radiator sempurna atau benda hitam akan memancarkan energi radiasi dengan laju  $q_r$  yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$q_r = \sigma A(T_s)^4 \dots\dots\dots ( \text{Persamaan 2.8} )$$

dimana:

- $q_r$  = Laju perpindahan kalor radiasi (watt)
- $\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8}$  watt/ m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)
- A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)
- T1 = Temeperatur permukaan (°C)
- T2 = Temeperatur sekeliling (°C)

## 7. Isolator

Isolator adalah yang tidak bisa atau sulit untuk menghantarkan. Jadi, isolator panas adalah benda-benda yang tidak bisa atau sulit untuk menghantarkan panas. Contoh benda isolator panas adalah tatakan gelas, gangang panci, gangang wajan.

*a. Glasswool*

*Glasswool* adalah bahan peredam suara yang berbahan dasar serat kaca. Ciri-ciri *glasswool* seperti selimut tebal berwarna kuning. *Glasswool* dijual eceran dalam bentuk lembaran dan dalam kuantitas besar dalam bentuk *roll*. *Glasswool* memiliki ketebalan 25mm-50mm dengan densitas permukaan mulai dari 25g/m<sup>2</sup> sampai dengan 75g/m<sup>2</sup>.

*Glasswool* berfungsi meredam suara dan dapat menginsulasi panas. *Glasswool* juga bersifat menyerap uap air. Dalam keadaan lembab, kemampuan meredam suara *glasswool* menjadi berubah. *Glasswool* yang lembab akan berjamur dan beratnya menjadi 5-7x berat aslinya. Kelembaban *glasswool* juga berdampak pada umur yang mana *glasswool* akan mudah menjadi lapuk dan hancur seperti pasir [18].

*b. Rockwool*

*Rockwool* adalah bahan peredam suara yang terbuat dari bahan dasar bebatuan. Ciri-ciri *rockwool* seperti selimut tebal berwarna abu-abu atau kuning. *Rockwool* dijual eceran dalam bentuk lembaran dalam kuantitas besar dalam bentuk *roll* atau lembaran berkemasan plastik. *Rockwool* memiliki ketebalan mulai dari 25mm-100mm dengan densitas permukaan mulai dari 30g/m<sup>2</sup> sampai dengan 100g/m<sup>2</sup>. *Rockwool* adalah produk serat mineral ringan yang dirancang untuk meredam suara dan isolasi terhadap panas [19].



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Lokasi Penelitian**

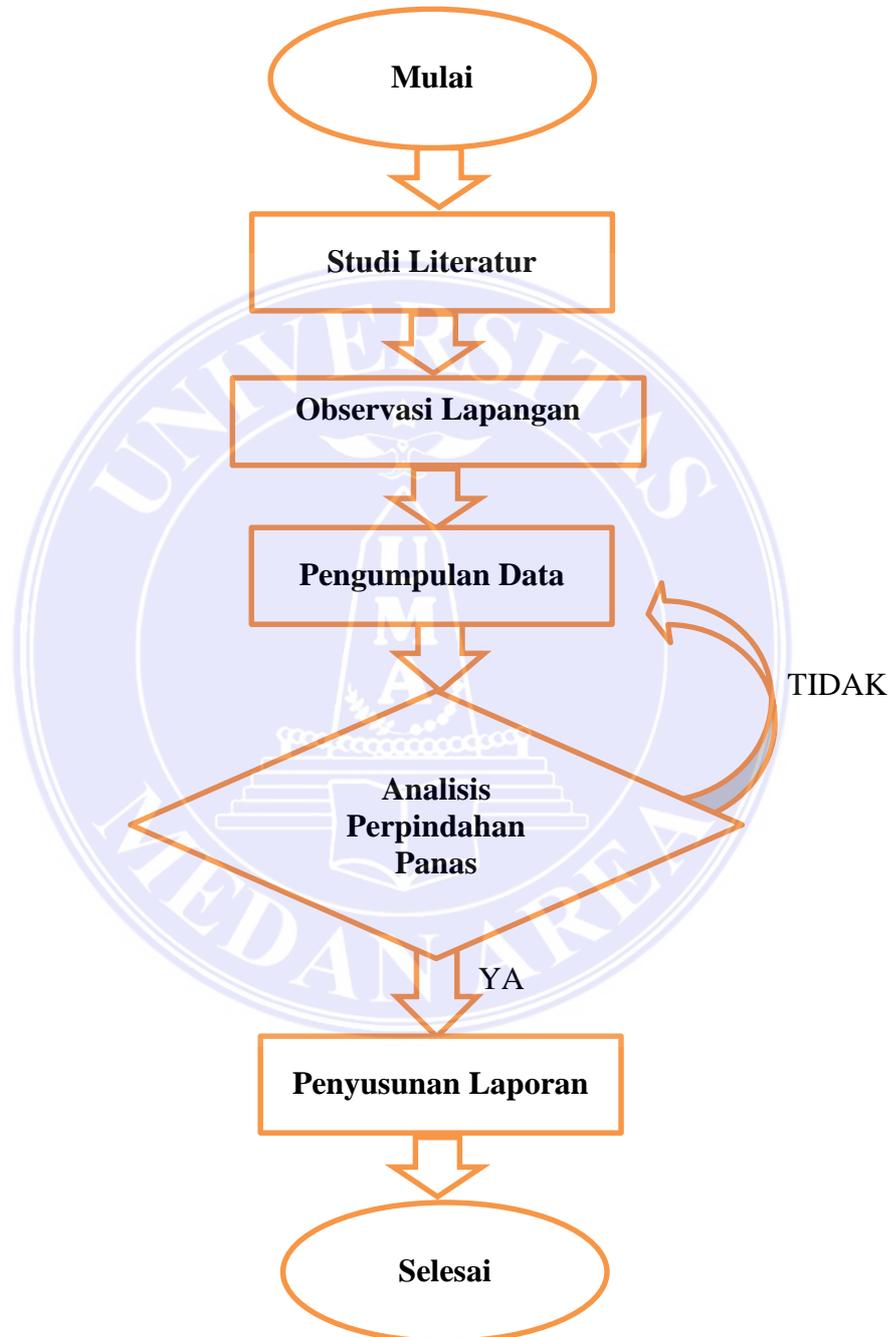
Penelitian ini dilakukan pada bulan 28 Juni 2021 sampai dengan 28 Agustus 2021. Penelitian ini dilakukan di PTPN IV Kebun Adolina yang berada di Jl. Perintis Kemerdekaan, Batang Terap, Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai.

#### **B. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan beberapa metode pencarian data, antara lain :

1. Studi Literatur, merupakan metode penelitian dengan cara membaca berbagai kepustakaan untuk mengetahui dan mendapatkan teori tentang data yang terkait dengan masalah yang akan dibahas.
2. Observasi lapangan, merupakan, metode penelitian yang dilakukan secara langsung pada obyek penelitian yang dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung pada obyek yang akan diteliti, guna mendapatkan data yang dibutuhkan.
3. Metode dokumentasi, merupakan metode yang dilakukan untuk mengumpulkan sejumlah data-data dengan mencatat data (dokumen), mengambil foto/video berhubungan dengan masalah yang diteliti.

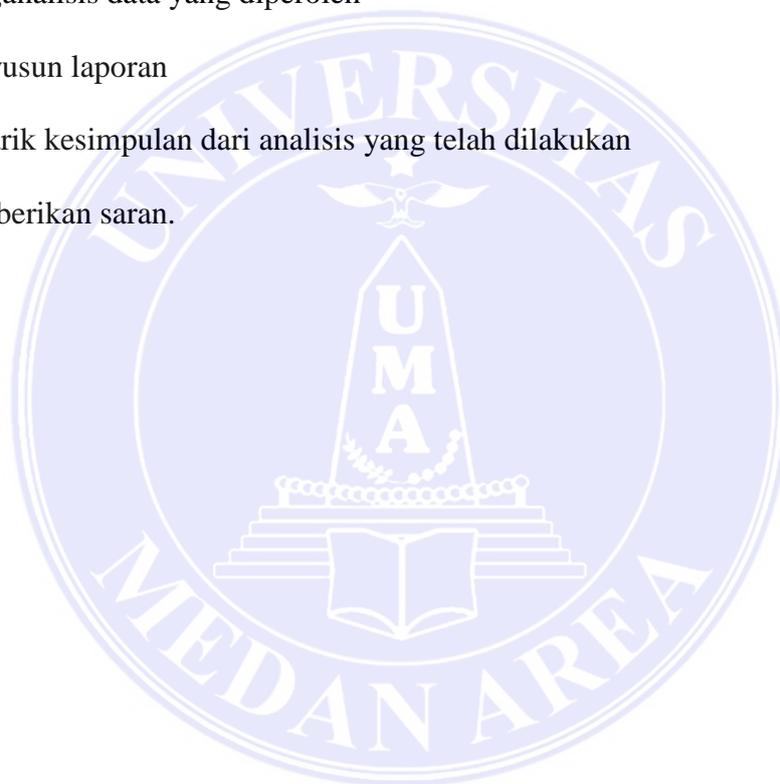
### C. Rancangan Penelitian



Gambar 3. 1 Rancangan Penelitian

#### **D. Prosedur Penelitian**

1. Mengumpulkan literature sebagai bahan referensi penelitian
2. Melakukan observasi lapangan pengamatan
3. Mengumpulkan data yang dibutuhkan penelitian
4. Menganalisis data yang diperoleh
5. Menyusun laporan
6. Menarik kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan
7. Memberikan saran.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

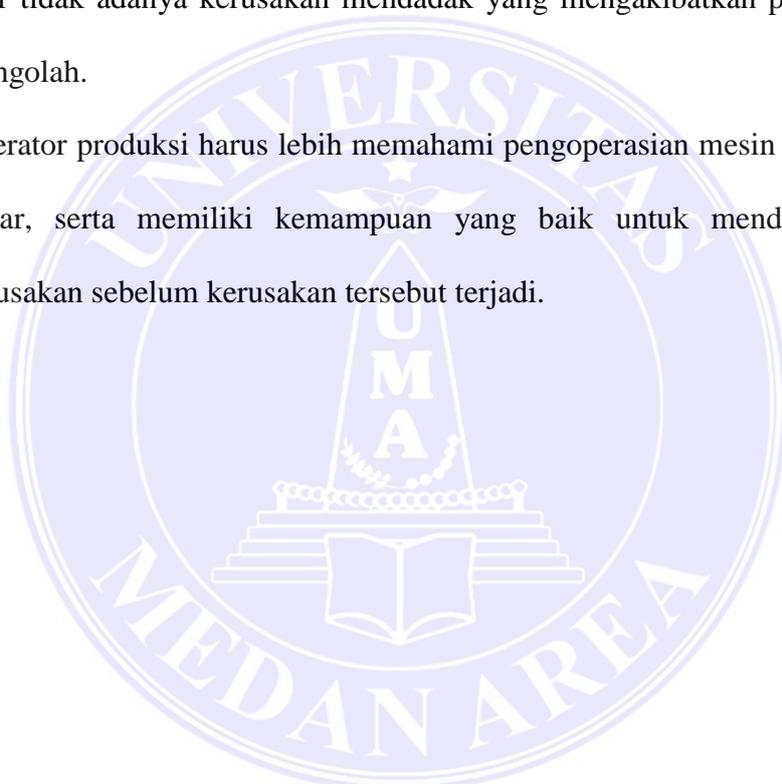
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kalor yang dibutuhkan oleh sterilizer adalah sebesar 70, 443kJ/Jam dan Kalor yang diserap oleh tandan buah segar pada setiap perebusan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Adolina adalah sebesar 5.225 kJ. Jumlah panas yang diserap oleh sterilizer di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Adolina adalah sebesar 5.295,443 KJ/Jam. Sedangkan untuk laju perpindahan panas konduksi pada sterilizer adalah sebesar sebesar 1.130,871 W/m°C.
2. Energi yang masuk pada peak I adalah sebesar 198.863,778kJ pada peak II sebesar 321.421,90 kJ dan pada peak III sebesar 381.529,26 kJ. Efisiensi kerja pada sterilizer Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV ADOLINA adalah sebesar 75,17% sehingga dengan demikian dapat beroperasi dan digunakan dengan baik dalam perebusan Tandan Buah Segar
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi perpindahan kalor secara konduksi adalah panjang benda, luas permukaan benda, jenis benda dan perbedaan suhu.

## B. Saran

Penelitian yang dilakukan terhadap kebijakan perawatan mesin yang telah dilaksanakan oleh perusahaan memberikan beberapa masukan yang dapat dikembangkan dan ditindaklanjuti, diantaranya :

1. Perusahaan dapat membuat analisa resiko seperti yang telah penulis lakukan agar tidak adanya kerusakan mendadak yang mengakibatkan pabrik berhenti mengolah.
2. Operator produksi harus lebih memahami pengoperasian mesin yang baik dan benar, serta memiliki kemampuan yang baik untuk mendeteksi sebuah kerusakan sebelum kerusakan tersebut terjadi.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Harisandi, “Pengaruh Waktu, Temperatur dan Tekanan Terhadap Kehilangan Minyak Pada Air Kondensat dengan Perebusan Sistem Tiga Puncak di Pabrik Kelapa Sawit PTPN III Kebun Rambutan Tebing Tinggi,” Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [2] V. Indah, N. Melinda, F. Widia, and R. Trimei, “Strategi perencanaan produksi dan pengendalian bahan baku pada pabrik kelapa sawit (PKS) PTPNusantara VI Rimbo Dua Kabupaten Tebo Provinsi Jambi,” *J. Politek. Pertan. Negeri Payakumbuh*, vol. 6, no. 4, 2019.
- [3] T. Setyawan, *Kelapa Sawit*. Yogyakarta: Kanisius, 2015.
- [4] V. Gasper, *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedia Pusaka Utama, 2015.
- [5] F. Julia, “Proses Pengolahan dan Aplikasi Minyak Sawit Merah pada Industri Pangan,” *J. Vitasph.*, vol. 2, no. 1, p. 11, 2019.
- [6] Sulaiman and R. Randa, “Pengaruh Temperatur terhadap Efisiensi Sterilizer dan Kualitas Minyak yang Dihasilkan,” *J. Menara Ilmu*, vol. XII, no. 10, 2018.
- [7] A. Nasution, M. R. Harahap, and W. Pradana, “Analisa Pengaruh Tebal Dinding dan Isolasi terhadap Perpindahan Panas pada Sterilizer,” *PISTON*, vol. 4, no. 2, pp. 89–93, 2020.
- [8] O. Hikmawan and R. Angelina, “Pengaruh Variasi Waktu dan Tekanan terhadap Kehilangan Minyak pada Air Kondensat di Unit Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit,” *J. Tek. dan Teknol.*, vol. 14, no. 28, pp. 33–39, 2019.
- [9] R. Situmeang, “Pengaruh Waktu Perebusan terhadap Kadar Minyak Sawit dalam Air Rebusan pada Kondensat di PT. Perkebunan Nusantara IV (Persero) Unit Kebun Pabatu Tebing Tinggi,” Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [10] H. Purwanto and I. U. P. Rangkuti, “Pengukuran Kuantitas Uap Masuk Rebusan Secara Tidak Langsung Menggunakan Grafik Rototherm,” *AGRO Fabr.*, vol. 2, no. 2, pp. 58–65, 2020.
- [11] D. Hariyanto, “Efektifitas Serangga Penyerbuk Kelapa Sawit *Elaidobius kamerunicus* Terhadap Keberhasilan Fruit Set,” Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Agrobisnis Perkebunan, 2014.

- [12] J. Holman, *Heat Transfer*, Sixth Edit. New York: McGraw-Hill, 1986.
- [13] Burlian, "Pengaruh Variasi Ketebalan Isolator Terhadap Laju Kalor dan Penurunan Temperatur Pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa," Universitas Sriwijaya Palembang, 2014.
- [14] Groggins, *Unit Process In Organic Synthesis*. Singapore: McGraw-Hill, 1986.
- [15] Y. Cengel, *Heat Transfer : A Practical Approach*, Second Edi. New York: McGraw-Hill, 2004.
- [16] F. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Sixth Edit. New York: John Wiley and Sons, Inc, 2007.
- [17] J. Shafhal, "Analisa Isolator Pipa Boiler Untuk Meminimalisir Heat Loss Saluran Permukaan Pipa Uap Pada Boiler Pabrik Krupuk Yarkasih," Universitas Muria Kudus, 2016.
- [18] ICANZ, "Glasswool and Rockwool Occupational Health and Safety Profile," 2003.
- [19] I. KNAUF, "Is Glasswool Better Than Rockwool," 2013.
- [20] Suwanda, *Desain Eksperimen untuk Penelitian Ilmiah*. Bandung: Alfabeta, 2011.
- [21] Hasan, Yaziz. 1997. Sains Fisika. Jakarta: Poliyama Widya Pustaka
- [22] Incropera, F. P. 1996. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. AS Lavine.

## LAMPIRAN

### a. Data Sterilizer





Gambar 4.1 Pintu sterilizer yang digunakan PTPN IV Adolina  
Sumber : Dokumentasi Pribadi di PTPN IV Adolina Perbaungan 2021

#### Ukuran *sterilizer*

- Panjang sterilizer : 28 m
- Diameter dalam bejana : 2,1 m
- Diameter luar bejana : 2,085 m
- Diameter luar isolasi : 2,121 m
- Tebal plat dinding badan: 15 mm
- Tebal dinding sterilizer : 1,5 cm (15 mm)
- Jari-jari sterilizer : (1.04, 1.05, 1.06) m.

#### Kondisi suhu dan tekanan

- Tekanan operasi : 2,8 – 3,5 kg/Cm<sup>2</sup>
- Suhu uap masuk : 130 °C
- Suhu TBS saat masuk *sterilizer* : 30 °C
- Suhu TBS saat keluar *sterilizer* : 90 °C
- Suhu Air Kondensat : 90 °C
- Air Kondensat yang dihasilkan : 225 L/90 menit

Tabel 4.1 Data Sterilizer

No.	Bagian	Spesifikasi
1	Bentuk/model	Silinder memanjang horizontal
2	Kapasitas	30 ton
3	Tekanan uap	2,8 s/d-3,5 Kg/cm <sup>2</sup>
4	Temperatur uap	130 <sup>o</sup> C – 135 <sup>o</sup> C
5	Waktu perebusan	90 menit
6	Mengeluarkan dan Masukkan Lori	10 menit
7	Jumlah TBS / Lori	2,5 ton TBS
8	Banyak Sterilizer dipakai	3 unit
9	Jumlah Lori / Sterilizer	10 lori
	Panjang Lori	2,5 m
	Jari-jari lori	90 cm
	Jari-jari Sterilizer	1,16 m
10	Jumlah Perebusan selam 24 jam	8 ÷ 9 kali
11	Jumlah Pipa kondensat/Sterilizer	6 pipa
12	Sistem Perebusan	3 tahap perebusan

(Sumber: Data PTPN IV Adolina Perbaungan 2021)

## b. Data Boiler



Gambar 4.2 Boiler yang digunakan PTPN IV Adolina  
Sumber: Data PTPN IV Adolina Perbaungan 2021

- Standar air umpan : Temperatur  $\geq 80^{\circ}\text{C}$
- Kesadahan  $\leq 2$  ppm; Silika  $\leq 5$  ppm
- Standar air boiler: pH 10,5-11,5; Kesadahan tidak nyata; silica  $\leq 150$  ppm; TDS  $\leq 1.200$  ppm.

- Tekanan uap stabil 19-21 kg/cm
- Temperatur gas buang  $\leq 350$  °C
- Shooting blowing setiap 4 jam/setelah korek abu
- Ke-vacum-an ruang bakar 5-10 mm Hg

**c. Isolator**



Gambar 4.3 Isolator yang digunakan PKS PTPN IV Adolina  
Sumber: Data PTPN IV Adolina Perbaungan 2021

Jenis/Merk : Rockwool/ProRox SL 930  
Nominal density : 60 kg/m<sup>3</sup>  
Ukuran : 50x600x1200