

OPTIMALISASI PENGGUNAAN UAP PADA STASIUN STERILISASI PABRIK KELAPA SAWIT

SKRIPSI

**OLEH:
DANIEL HUTAJULU
218130059**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/8/26

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

Access From (repository.uma.ac.id)10/8/26

HALAMAN JUDUL

OPTIMALISASI PENGGUNAAN UAP PADA STASIUN STERILISASI PABRIK KELAPA SAWIT

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

**DANIEL HUTAJULU
218130059**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Optimalisasi Penggunaan Uap pada Stasiun
Sterilisasi Pabrik Kelapa Sawit

Nama Mahasiswa : Daniel Hutajulu

NIM : 218130059

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


Muhammad Idris, ST., MT
Pembimbing


Dr. Eng Supriatno, ST., MT
Dekan


Dr. Iswandi, ST., MT
KA. Prodi

Tanggal Lulus: 18 Desember 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 15 April 2026



Daniel Hutajulu

218130059

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Daniel Hutajulu
NPM : 218130059
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

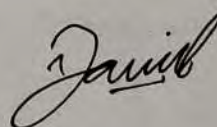
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: “OPTIMALISASI PENGGUNAAN UAP PADA STASIUN STERILISASI PABRIK KELAPA SAWIT”.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di : Universitas Medan Area

Pada Tanggal : 15 April 2026

Yang menyatakan :



(Daniel Hutajulu)

NPM 218130059

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/8/26

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

ABSTRAK

Proses perebusan tandan buah segar (TBS) pada stasiun perebusan memerlukan penggunaan uap yang tinggi, sehingga perlu dilakukan optimasi parameter proses. Penelitian ini bertujuan menentukan kombinasi faktor parameter yang efisien dengan menggunakan metode Regresi linier dan metode Taguchi. Faktor yang diteliti ialah tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas *sterilizer* dengan tiga level masing-masing. Penelitian ini diawali dengan pengambilan data dan pengamatan langsung di stasiun perebusan dan dilakukan desain eksperimen *Orthogonal Array L9* untuk menentukan variasi parameter. Selanjutnya dilakukan perhitungan penggunaan uap aktual berdasarkan data lapangan dan membuat model regresi linier untuk menggambarkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, yang kemudian model regresi divalidasi *Mean Absolute Percentage Error*. Setelah model dinyatakan valid maka metode *Taguchi* digunakan untuk Optimasi parameter perebusan dengan kriteria *smaller is better*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas *sterilizer* merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap penggunaan uap, diikuti waktu perebusan, sedangkan tekanan uap tidak berpengaruh signifikan. Kombinasi optimal diperoleh pada tekanan 2.8 kg/cm², waktu perebusan 49 menit, dan kapasitas sterilizer 25 ton dengan penggunaan uap 1.5232 kg uap/ton TBS.

Kata kunci : Perebusan, Metode *Taguchi*, Regresi linier, Optimalisasi.

ABSTRACT

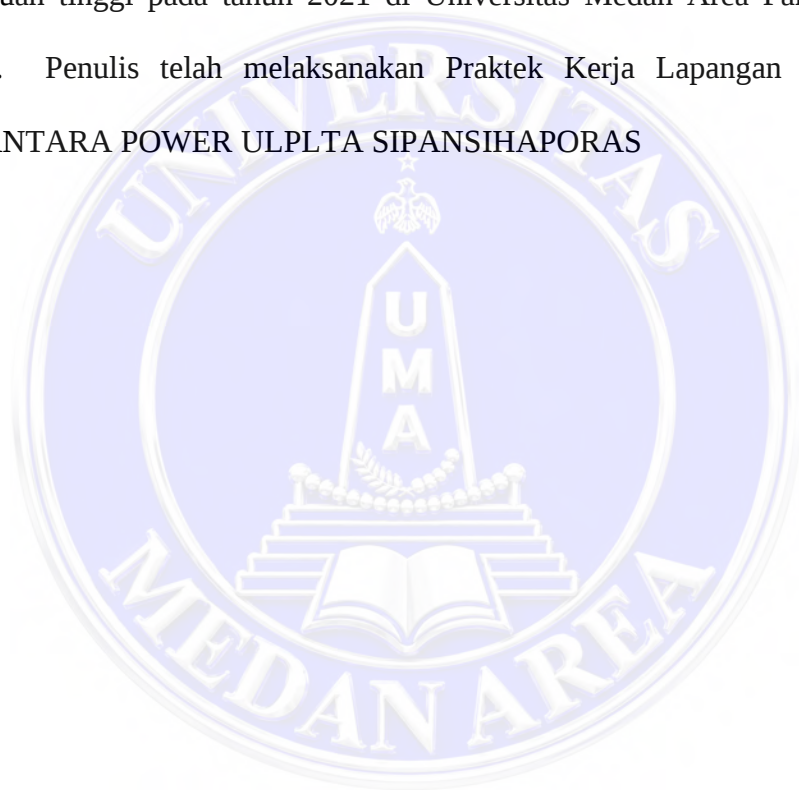
The sterilization process of fresh fruit bunches (FFB) in the sterilizer station requires a high amount of steam consumption, thus process parameter optimization is necessary. This study aims to determine the most efficient combination of process parameters using linear regression analysis and the Taguchi method. The factors investigated include steam pressure, sterilization time, and sterilizer capacity, each at three levels. The research began with data collection through direct field observation at the sterilizer station and employed an Orthogonal Array L9 experimental design to determine parameter variations. Subsequently, the actual steam consumption was calculated based on field data, and a linear regression model was developed to describe the relationship between independent variables and the response variable. The regression model was then validated using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Once validated, the Taguchi method was applied to optimize the sterilization parameters with the smaller is better criterion. The results showed that sterilizer capacity was the most influential factor on steam consumption, followed by sterilization time, while steam pressure had no significant effect. The optimal combination was obtained at 2.8 kg/cm² steam pressure, 49 minutes sterilization time, and 25 tons sterilizer capacity, resulting in a minimum steam consumption of 1.5232 kg/ton FFB.

Keywords: Sterilization, Taguchi Method, Linear Regression, Optimization.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandung, pada tanggal 17 Januari 1998 dari Bapak Elduin Hutajulu dan Ibu Lasti Sipangkar. Penulis merupakan anak ke dua dari empat bersaudara.

Penulis lulus smk pada tahun 2015 di SMK Negeri 1 Balige, dan melanjutkan perguruan tinggi pada tahun 2021 di Universitas Medan Area Fakultas Teknik Mesin. Penulis telah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan di PT.PLN NUSANTARA POWER ULPLTA SIPANSIHAPORAS



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang memberikan berkat dan rahmat-nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah dengan judul "Optimalisasi Penggunaan Uap pada Stasiun Sterilisasi Pabrik Kelapa Sawit".

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Muhammad Idris, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dalam penyelesaian penulisan tugas akhir/skripsi ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan rekan satu tim dan teman teman satu angkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada ayah dan ibu saya, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dengan segala doa dan perhatiannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

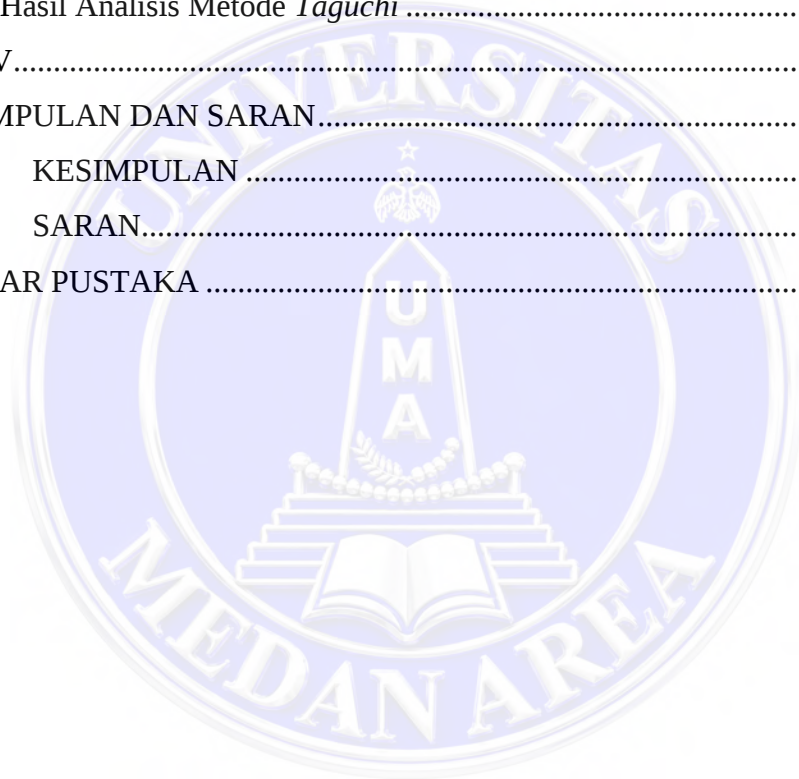
Daniel Hutajulu

NPM 218130059

DAFTAR ISI

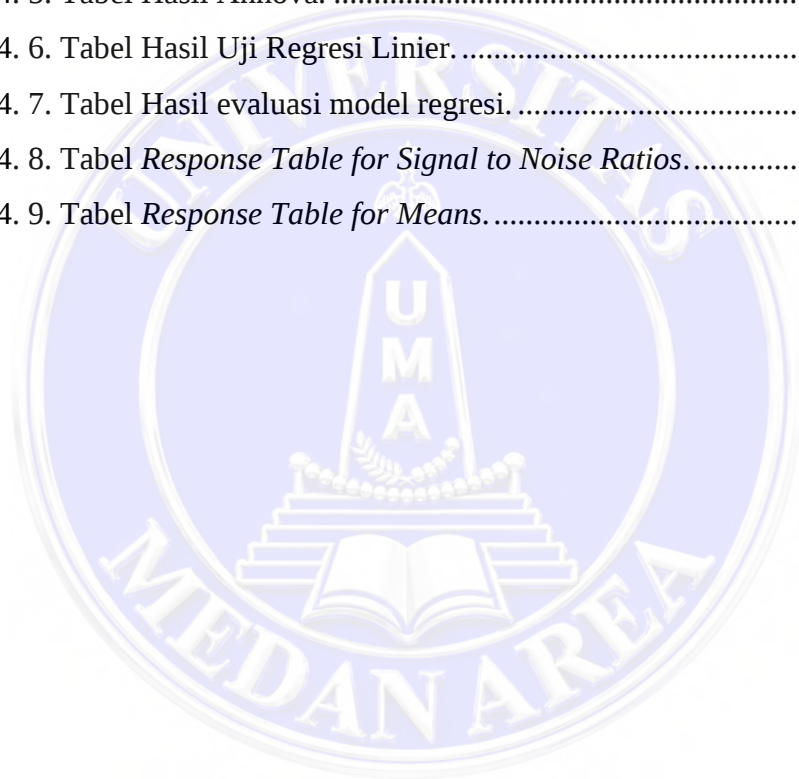
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Konsep Dasar <i>Sterilizer Station</i> di Pabrik Kelapa Sawit.....	4
2.2 Kebutuhan Uap pada Proses Perebusan TBS	12
2.3 Hubungan Tekanan Uap, Waktu Perebusan Dan Kapasitas Terhadap Kualitas CPO	16
2.4 Pengaruh Parameter proses terhadap Kerugian Minyak (<i>Oil Losses</i>)	19
2.5 Metode Taguchi dalam optimasi proses Sterilizing	20
2.6 Regresi Linier	23
2.7 Efisiensi Energi dalam Proses Produksi Minyak Kelapa Sawit	24
BAB III	27

METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Bahan dan Alat	28
3.3 Metode Penelitian	30
3.4. Populasi dan Sampel.....	31
3.5 Prosedur Kerja	31
BAB IV	35
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Hasil.....	35
4.2. Hasil Analisis Metode <i>Taguchi</i>	41
BAB V.....	47
KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1. KESIMPULAN	47
5.2. SARAN.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Tabel Penelitian.....	27
Tabel 3. 2. Tabel Desain Sterilizer.....	28
Tabel 3. 3. Populasi dan Sampel	31
Tabel 3. 4. Desain Percobaan.....	31
Tabel 4. 1. Tabel Variasi Sampel.....	36
Tabel 4. 2. Tabel Variasi Level.....	36
Tabel 4. 3. Tabel Properties Tekanan.....	37
Tabel 4. 4. Tabel <i>Summary Output</i>	39
Tabel 4. 5. Tabel Hasil Annova.	39
Tabel 4. 6. Tabel Hasil Uji Regresi Linier.	40
Tabel 4. 7. Tabel Hasil evaluasi model regresi.	41
Tabel 4. 8. Tabel <i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i>	42
Tabel 4. 9. Tabel <i>Response Table for Means</i>	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Sterilizer	4
Gambar 2. 2. Sterilizer Horizontal	7
Gambar 2. 3. Sterilizer Vertikal	8
Gambar 2. 4. Sterilizer Miring	8
Gambar 2. 5. Komponen-komponen sterilizer	9
Gambar 2. 6. Grafik perebusan	12
Gambar 2. 7. Nilai S/N untuk nominal is the best	21
Gambar 2. 8. Nilai S/N untuk karakteristik kualitas Lower is better	22
Gambar 2. 9. Nilai S/N untuk karakteristik kualitas Higher is better	23
Gambar 3. 1. Stasiun Perebusan.....	29
Gambar 3. 2. <i>Pressure Gauge Sterilizer</i>	29
Gambar 3. 3. Software Minitab.....	30
Gambar 3. 4. Diagram alir Penelitian.....	34
Gambar 4. 1. <i>Digital Human Machine Interface (HMI)</i>	36
Gambar 4. 2. <i>Main Effects Plot for Means</i>	43
Gambar 4. 3. Grafik <i>Main Effects Plot for SN ratios</i>	44
Gambar 4. 4. Grafik <i>Pareto Chart of the Standardiez Effects.</i>	45
Gambar 4. 5. Grafik <i>Residual Plots for</i> Komsumsi uap (kg/ton)	46

DAFTAR NOTASI

q	=	Aliran Kalor
k	=	Konduktifitas termal untuk uap air(jenuh)
S	=	Faktor bentuk konduksi
L	=	Panjang silinder <i>sterilizer</i> (m)
r_0	=	jari-jari luar <i>sterilizer</i> (m)
m_u	=	Massa uap aliran (kg/jam)
Q^{tot}	=	Panas yang diperlukan untuk proses perebusan (kkal/jam)
h^g	=	Entalphy uap masuk <i>sterilizer</i> (kkal/kg)
h_x	=	Entalphy kondensate keluar <i>sterilizer</i> (kkal/kg)
ΔT	=	Selisih temperatur (°C)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Salah satu produsen minyak kelapa sawit (CPO) terbesar di dunia ialah Indonesia. Dan untuk pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi minyak sawit terdapat beberapa proses, di antaranya perebusan, perontokoan, pengempaan, dan permurnian. Dari seluruh tahapan tersebut, proses perebusan (sterilisasi) memegang peranan sangat penting karena menentukan kemudahan perontokan buah, kualitas minyak, dan efisiensi energi di pabrik kelapa sawit. Tahap pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) yang pertama adalah proses perebusan atau sterilisasi yang dilakukan dalam bejana bertekanan (*sterilizer*) dengan menggunakan uap air jenuh (*saturated steam*). Uap dijadikan sebagai sumber panas perebusan, maka sangat penting dilakukan pengontrolan penggunaan uap agar tidak terjadi penggunaan uap yang berlebih.

Menurut (Siswanto, J. E, 2023), Dalam Perebusan Tanda Kelapa Sawit dalam *sterilizer* mempunyai faktor faktor atau variabel dalam perebusan yaitu Kapasitas Perebusan (Q), Tekanan Perebusan (*Peak pressure*), Temperatur Air masuk (T_{in}) dan Waktu perebusan (t). untuk mengetahui optimalitas dalam proses perebusan dilakukan penelitian dan pengambilan data operasional Steriliser di industri Pabrik Kelapa Sawit didapat data data atau variable dalam perebusan.

Sterilizer merupakan stasiun yang sangat penting dalam pengolahan, peranan penting dalam pengolahan kelapa sawit ini karena dari peroses perebusan dapat berpengaruh terhadap keberhasilan proses-proses di stasiun selanjutnya,

stasiun *sterilizer* adalah stasiun pertama dalam pengolahan kelapa sawit setelah TBS di timbang. Di dalam proses perebusan juga terjadi kehilangan minyak atau disebut dengan “*losses*” dan tidak dapat dihindari akan tetapi dapat di kurangi dari setiap stasiun pengolahan (Siswanto, J. E, 2023).

Faktor yang sangat memengaruhi kesempurnaan proses perebusan adalah kondisi dari buah kelapa sawit itu sendiri dan apabila dalam proses perebusan tidak memperhatikan tekanan, waktu, dan temperatur perebusan maka kehilangan minyak dari buah kelapa sawit akan semakin besar. Tekanan dan waktu sistem perebusan pada *sterilizer* sangat berpengaruh untuk mengurangi kehilangan minyak dalam air buangan tersebut. (Sitepu, T.2011)

Menurut (Putri,A.S.2023). Tahap utama produksi *Crude Palm Oil* (CPO) terjadi pada proses perebusan, yang melibatkan peran peralatan sterilizer. Salah satu standar ideal dalam menghasilkan CPO adalah memiliki rendemen minyak dalam kisaran 22,5–23,5%. Namun, industri pengolahan kelapa sawit hanya memperoleh rendemen minyak sebesar 20,25%. Penurunan rendemen ini disebabkan oleh tekanan uap yang masuk ke sterilizer tidak sesuai standar.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka penulis akan melakukan penelitian “ Optimalisasi penggunaan uap di stasiun perebusan”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dijelaskan, ditemukan permasalahan sehubungan dengan penelitian ini. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan hubungan antara tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas *sterilizer* terhadap penggunaan uap ?
2. Bagaimana mengoptimalkan parameter proses *sterilizer* untuk mengurangi penggunaan uap?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, berdasarkan latar belakang masalah, yaitu:

1. Menentukan hubungan antara tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas *sterilizer* terhadap penggunaan uap di *Peak III*.
2. Mengoptimalkan parameter proses *sterilizer* untuk mengurangi penggunaan uap di *Peak III*.

1.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian diduga bahwa terdapat penggunaan uap optimal pada proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS) dapat mengurangi penggunaan uap yang berlebihan dan pengaturan parameter proses perebusan yang tepat mampu mengoptimalkan penggunaan uap pada proses perebusan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui hubungan antara tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas perebusan di Pabrik Kelapa Sawit.
2. Dapat mengetahui optimasi parameter proses perebusan yang menekan penggunaan uap.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar *Sterilizer Station* di Pabrik Kelapa Sawit

Sterilizer station merupakan unit utama dalam proses produksi minyak kelapa sawit yang berfungsi untuk merebus tandan buah segar (TBS). proses ini bertujuan untuk menghentikan aktivitas enzim, mempermudah pelepasan minyak, dan mengurangi kadar air pada TBS dengan menggunakan uap (*steam*) dan temperature tinggi dalam waktu tertentu. Pemahaman tentang *sterilizer station* penting untuk mengoptimalkan efisiensi energi dan meningkatkan kualitas *crude palm oil* (CPO) Proses ini melibatkan variabel seperti tekanan uap, durasi perebusan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2. 1. *Sterilizer*

Faktor yang sangat memengaruhi kesempurnaan peroses perebusan adalah kondisi dari buah kelapa sawit itu sendiri dan apabila dalam peroses perebusan tidak memperhatikan tekanan, waktu, dan temperatur perebusan maka kehilangan minyak dari buah kelapa sawit akan semakin besar. Tekanan dan waktu sistem perebusan pada *sterilizer* sangat berpengaruh untuk mengurangi kehilangan minyak

dalam air buangan tersebut. Dalam proses dari perebusan, TBS dipanaskan dengan uap pada temperatur sekitar 135°C dan tekanan 2,5 sampai 3,0 kg/cm² selama 80-90 menit, sehingga sistem perebusan harus sesuai dengan kemampuan boiler produksi uap dengan sasaran tujuan perebusan dapat tercapai. Berikut adalah gambar perebusan pada PT. Produk Sawit Indo Jambi. Keberhasilan dalam proses perebusan akan mendukung kemudahan-kemudahan dalam proses selanjutnya, baik di stasiun *thresher*, *screw press*, *digester*, *bunch press* dan lain-lain. Adapun tujuan penting pada stasiun perebusan adalah sebagai berikut: (Siswanto, J. E, 2023).

1. Menonaktifkan atau merusak enzim, dan menghentikan peragian yang dapat mengakibatkan pembentukan atau kenaikan asam lemak bebas. TBS yang baru dipanen biasanya masih mengandung enzim lipase yang bertindak sebagai katalisator dalam pembentukan asam lemak bebas. Selain itu, TBS juga mengandung enzim oksidase yang berperan dalam pembentukan peroksida yang kemudian berubah menjadi gugus *aldehydes*. Jika TBS mengalami luka atau memar, maka aktivitas enzim lipase dan oksidase semakin tinggi. Jika dilakukan pemanasan sampai suhu > 50 0C, maka enzim menjadi tidak aktif lagi. Maka, perebusan dengan suhu tinggi akan menghentikan aktivitas enzim.
2. Membekukan getah dan protein Pemanasan melalui perebusan di stasiun sterilizer akan dapat membekukan getah yang terdapat pada TBS. Selain itu, suhu yang tinggi pada perebusan dapat membekukan protein.
3. Memudahkan berondolan lepas dari tandan. Untuk memudahkan pengambilan (ekstraksi) minyak, maka berondolan (buah) sawit harus dipisahkan dari tandannya. Pelepasan berondolan terjadi karena adanya hidrolisa pectin di pangkal buah. Dengan adanya perebusan di stasiun *sterilizer*, hidrolisa pectin

menjadi lebih cepat. Namun hidrolisa pectin pada tangkai, tidak seluruhnya bisa melepaskan berondolan. Oleh sebab itu, proses selanjutnya di stasiun *thresher* diperlukan untuk perontokan.

4. Melunakkan daging buah agar mudah dilumat dalam *digester*. Pemanasan melalui perebusan di stasiun *sterilizer* akan menyebabkan serat pada kulit buah kelapa sawit menjadi mudah lepas. Jika hal itu terjadi, maka proses selanjutnya di dalam digister dan *depericarper/ polishing* akan menjadi lebih mudah.
5. Mengurangi kadar air dalam buah sehingga meningkatkan meningkatkan efisiensi pemecahan pada biji sawit (*nut*). Proses perebusan di stasiun sterilisasi dapat mengurangi kadar air pada buah dan biji sawit, yaitu dengan cara penguapan. Dengan berkurangnya kadar air, maka efisiensi pemecahan pada biji sawit menjadi meningkat.
6. Mengkondisikan daging buah agar sel minyak dapat terlepas untuk diekstraksi.

2.1.1 Jenis-Jenis *Sterilizer*

Tahap sterilisasi buah kelapa sawit dalam proses ekstraksi minyak kelapa sawit ini sangat penting untuk kualitas minyak akhir serta kemampuan buah untuk dikupas. Sterilisasi menonaktifkan lipase dalam buah dan mencegah penumpukan asam lemak bebas (FFA). Selain itu, sterilisasi uap TBS memudahkan buah untuk dikupas dari tandannya. Sterilisasi uap juga melunakkan mesokarp buah untuk pencernaan dan pelepasan minyak, serta mengkondisikan kacang untuk meminimalkan kerusakan biji. Berikut merupakan jenis-jenis *sterilizer* yaitu:

1. *Sterilizer horizontal*

Sterilizer horizontal adalah *Sterilizer* yang paling umum digunakan di pabrik kelapa sawit. Ketika ditempatkan dalam posisi *horizontal*, *Sterilizer* bejana silinder memiliki disposisi yang cukup baik karena tandan buah segar kelapa sawit yang ditempatkan dalam sangkar dengan tinggi susun rendah tersebar lebih merata dalam posisi ini di sepanjang bejana yang memanjang, dibandingkan dengan *Sterilizer* vertikal. Jadi, ketika uap bertekanan disuntikkan ke bagian dalam bejana silinder yang diposisikan *horizontal*, uap dapat menjangkau berbagai arah dan sudut isi di dalam sangkar sehingga membantu perawatan tandan buah. Karena tinggi susun tandan buah yang rendah di dalam sangkar, kondensat mengalir keluar dengan bebas dari tumpukan tandan buah yang memfasilitasi penetrasi panas. Tinggi susun yang rendah juga membatasi kompresi tandan buah yang memfasilitasi kehilangan minyak yang rendah dari buah selama sterilisasi.



Gambar 2. 2. *Sterilizer Horizontal*

2. *Sterilizier Vertikal*

Sterilizer vertikal merupakan di mana tandan buah segar ditempatkan langsung ke dalam wadah vertikal tinggi tanpa sangkar baja. *Sterilizer* vertikal dipertimbangkan untuk digunakan di pabrik kelapa sawit yang mengutamakan

penghematan ruang. *Sterilizer* vertikal jauh lebih bersih dan mudah dioperasikan daripada *sterilizer* konvensional.



Gambar 2. 3. *Sterilizer Vertikal*

3. *Sterilizer Miring (Tilting)*

Sterilizer miring menghilangkan sebagian besar mesin yang terkait dengan sterilisasi konvensional. Teknologi ini merupakan desain terbaru yang menawarkan efisiensi penggilingan yang lebih baik, serta mengurangi biaya tenaga kerja dan perawatan.

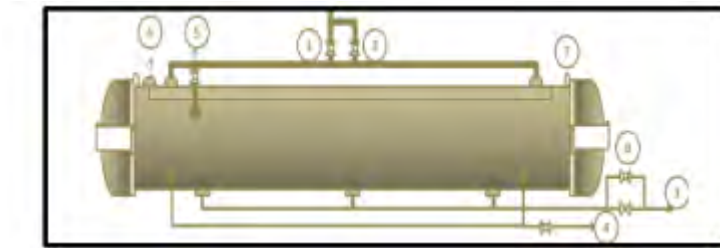


Gambar 2. 4. *Sterilizer Miring*

2.1.2 Komponen-komponen *Sterelizer*

Komponen-komponen *sterelizer* pada umumnya dapat dilihat pada gambar 2.

Berikut ini:



Gambar 2. 5. Komponen-komponen *sterelizer*

1. *Main steam inlet*

Berfungsi sebagai *supply steam* dari BPV (*back pressure vessel*)

2. *Auxiliary steam inlet*

berfungsi sebagai *secondary supply steam* (pembantu *supply steam* dari *main steam inlet*)

3. Kondensat c/w *straine*

fungsi untuk pembuangan kondensat hasil perebusan

4. Deaerasi

berfungsi untuk buang udara agar proses perebusan optimal

5. *Exhaust*

berfungsi untuk membuang steam yang di lewatkan melalui *blow down silencer*

6. *Safety valve*

berfungsi sebagai pengaman bejana tekan dari tekanan yg melebihi tekanan ijin

7. *Pressure gauge* berfungsi untuk mengetahui tekanan yg ada didalam bejana

8. By-pass kondensate

berbentuk *orifice* dengan diameter 10 mm – 15 mm, yang berfungsi membuang kondensat selama proses perebusan berlangsung yang di *bypass* dengan tujuan agar kondensate terbangun secara kontinu.

2.1.3 Metode Perebusan

Sistem perebusan yang dipilih selalu disesuaikan dengan kemampuan boiler memproduksi uap, dengan sasaran bahwa tujuan perebusan dapat tercapai. Dalam melaksanakan proses perebusan buah di pabrik kelapa sawit, pada umumnya dikenal tiga sistem perebusan yang lazim digunakan, antara lain sistem perebusan satu puncak (*single peak*), dua puncak (*double peak*) dan tiga puncak (*triple peak*). Jumlah puncak dalam perebusan dilihat dari jumlah pembukaan atau penutupan dari uap masuk atau uap keluar selama perebusan berlangsung yang diatur secara manual atau otomatis (Fadillah, 2018)

1. Sistem perebusan satu puncak (*single peak*)

Sistem perebusan satu puncak adalah suatu sistem perebusan dimana jumlah puncak yang terbentuk selama proses ada satu puncak akibat dari tindakan pembuangan dan pemasukan uap yang tidak merubah bentuk pola perebusan selama proses perebusan satu siklus. Pada umumnya proses berlangsung pada tekanan uap 2,5 kg/cm² dengan suhu 125-130 °C selama ± 90 menit.

2. Sistem perebusan dua puncak (*Double Peak*)

Sistem perebusan dua puncak adalah suatu sistem perebusan dimana jumlah puncak yang terbentuk selama proses ada dua puncak akibat dari tindakan pembuangan dan pemasukan uap, kemudian dilanjutkan dengan pemasukan, penahanan dan pembuangan uap selama perebusan satu siklus. Pada umumnya

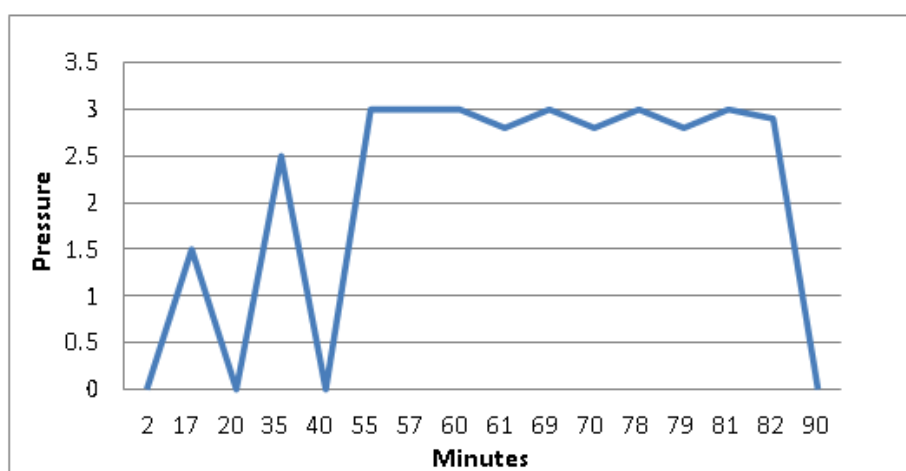
proses berlangsung pada tekanan 2,5-2,7 kg/cm² dengan suhu 125- 130°C selama 90 menit.

3. Sistem perebusan 3 puncak (*Triple Peak*)

Sistem perebusan tiga puncak adalah suatu sistem perebusan dimana jumlah puncak yang terbentuk selama proses tiga puncak akibat dari tindakan pemasukan uap dan pembuangan uap, dilanjutkan dengan pemasukan uap, penahanan dan pembuangan uap selama proses perebusan satu siklus. Pada umumnya proses 12 berlangsung pada tekanan uap 2,5-3,0 kg/cm² dengan suhu perebusan 130-140°C selama 75-90 menit.

2.1.4 Waktu Perebusan

Umumnya pabrik kelapa sawit menggunakan sistem *triple*, karena paling sempurna dengan tekanan puncak pertama 1,5 kg/cm², puncak kedua 2,5 kg/cm² dan puncak ketiga 2,8 kg/cm². Uap yang digunakan adalah uap jenuh bekas turbin yang dilewatkan BPV yang diisi air sehingga uap yang dihasilkan tidak kering. Pada *sterilizer* terdapat 5 buah saluran, yaitu saluran *main inlet*, *auxillary inlet*, deaerasi, condensate dan *exhaust*. Pada awal perebusan setelah pintu ditutup, udara dibuang dengan memasukkan uap lewat *auxillary inlet* dan membuka dearator dan kondensat. Setelah udara di dalam *sterilizer* keluar, tekanan dinaikkan dengan membuka *main inlet* dan menutup saluran deaerasi dan condensate. Setelah tekanan puncak tercapai maka saluran main dan *auxillary inlet* ditutup dan membuka saluran deaerasi dan *condensate* untuk membuang *condensate* yang terbentuk. Baru kemudian membuka katup *exhaust* sampai tekanan di dalam *sterilizer* nol. Untuk puncak kedua dan ketiga langkahnya hampir sama dengan puncak sebelumnya.



Gambar 2. 6. Grafik perebusan

2.2 Kebutuhan Uap pada Proses Perebusan TBS

Uap merupakan elemen utama dalam proses perebusan yang mempengaruhi tingkat kematangan TBS. pemanfaatan uap yang optimal diperlukan untuk menghindari pemborosan energi sekaligus memastikan hasil yang maksimal. Faktor tekanan, volume uap, dan desain sistem distribusi uap mempengaruhi efisiensi operasi. Analisis kebutuhan uap dapat membantu menentukan parameter ideal bagi proses perebusan.

Kebutuhan uap sangatlah menjadi *problem* yang penting untuk proses untuk pengolahan industri kelapa sawit. Nyaris untuk tiap proses pengolahan kelapa sawit memakai proses penguapan baik itu untuk proses media panas dan juga hal lainnya, kebutuhan uap tidak boleh berkurang dari standar proses pengerjaan untuk olahan kelapa sawit yang sudah diresmikan. Bila perihal ini terjalin, hingga hendak berdampak parah pada perlengkapan yang akan digunakan buat proses pengolahan serta juga pada hasil untuk pengolahan (M. Marbun, 2022)

Pada dasarnya kebutuhan uap pada saat perebusan di asumsikan dengan tekanan yang diberikan dalam satu kali perebusan. Dimana tekanan awal yang disuplai dari boiler berkisar 20 bar. Namun tidak sepenuhnya tekanan dimasukkan ke *sterilizer* karena jika tekanan yang diberikan besar pada saat perebusan maka akan menyebabkan persentase hilangnya kandungan minyak dalam tandan buah segar semakin besar. Tekanan uap yang dibutuhkan *sterilizer* untuk merebus tandan buah segar (TBS) dalam satu kali perebusan (P. Bismantolo, 2022)

2.2.1 Parameter operasional perebusan

Perebusan Tandan Kelapa Sawit dalam *sterilizer* mempunyai faktor faktor atau variabel dalam perebusan yaitu Kapasitas Perebusan (Q), Tekanan Perebusan (*Peak pressure*), Temperatur Air masuk (T_{in}) dan Waktu perebusan (t) (Siswanto, J. E, 2023).

1. Tekanan Uap

Tekanan uap dan lama perebusan sangat menentukan hasil perebusan dan efisiensi pabrik. Tekanan uap dan lama perebusan berbanding terbalik. Semakin kecil tekanan uap semakin lama perebusan. Sebaliknya, semakin tinggi tekanan uap maka semakin pendek waktu perebusan. Perebusan menggunakan *steam* bertekanan 2,8-3,0 kg/cm² dan temperatur 130-140°C serta siklus merebus selama 90 – 100 menit. Tekanan uap yang rendah dan waktu rebus yang tidak cukup akan mengakibatkan buah kurang masak, sehingga sebagian brondolan tidak lepas dari tandan yang mengakibatkan losses dalam tandan kosong bertambah. Pelumatan dalam digester tidak sempurna, sebagian daging buah tidak lepas dari biji sehingga

mengakibatkan proses pengempaan tidak sempurna dan kerugian minyak pada ampas dan biji bertambah.

Sebaliknya bila perebusan dilakukan terlalu lama maka buah menjadi terlalu masak sehingga kantong minyak di *mesocarp* dengan sendirinya terlepas ke air kondensat, *losses* minyak dalam air kondensat (rebusan) dan janjangan kosong menjadi naik dan merusak mutu minyak.

2. Temperatur, pembuangan udara, air kondensat

Temperatur di dalam rebusan sangat dipengaruhi oleh tekanan uap, udara dan air kondensat. Semakin rendah tekanan dan semakin banyak udara atau air kondensat di dalam rebusan, maka semakin rendah temperatur yang dicapai.

Udara merupakan penghantar panas yang rendah dan bila terjebak dalam suatu ruangan kosong dalam ketel rebusan, maka udara bisa menjadi isolator panas. Bila udara dalam ketel rebusan tidak dikeluarkan secara sempurna akan terjadi pencampuran udara dan uap yang mengakibatkan temperatur turun dan pemindahan panas dari uap ke buah tidak sempurna. Akibatnya adalah masih banyak brondolan masih terikut tandan kosong.

Air kondensat berasal dari penguapan tandan buah yang direbus dan hasil kondensasi steam di dalam ketel rebusan. Disamping tekanan, air kondensat di dalam ketel rebusan mengakibatkan temperatur perebusan menjadi turun. Temperatur normal di dalam ketel rebusan dengan tekanan uap 2,8-3,0 kg/cm² adalah 130-140°C. Buah yang terendam air kondensat, dipastikan tidak masak.

Kalaupun buah tidak terendam tetapi air kondensat masih ada yang tertinggal dalam perebusan dapat menyebabkan perebusan kurang masak.

2.2.2 Kecepatan Aliran Kalor dan Kebutuhan Uap

Dalam sistem dua dimensi, dimana hanya dua batas suhu, dapat di definisikan faktor bentuk konduksi sehingga dapat diperoleh rumus mencari aliran kalor sebagai berikut (C. Simanungkalit, 2024). :

$$q = k \cdot S \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

q = Aliran Kalor

k = konduktifitas termal untuk uap cair (jenuh) = 0,0206 W/m.°C

s = faktor bentuk konduksi

ΔT = selisih temperatur (°C) yaitu selisih temperatur uap masuk *sterilizer* dengan temperatur udara standart (*atmosfer*).

Nilai S untuk beberapa bentuk geometri dapat ditentukan, dimana faktor bentuk yang digunakan adalah silinder bolong dengan panjang L yaitu :

$$S = \frac{2\pi L}{\ln(r_0/r_i)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

S = faktor konduksi

L = panjang silinder *sterilizer* (m)

r_0 = jari – jari luar *sterilizer* (m)

$$r_i = \text{jari} - \text{jari dalam sterilizer (m)}$$

kebutuhan uap dapat dihitung berdasarkan besarnya panas yang diperlukan pada sterilizer.

$$m_u \frac{Q^{tot}}{h_g - h_x} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

M_u = massa aliran uap (kg/jam)

Q_{tot} = panas yang diperlukan untuk proses perebusan (Kkal/jam)

h_g = *enthalpy* uap masuk *sterilizer* (Kkal/kg)

h_x = *enthalpy condensate* keluar *sterilizer* (Kkal/kg)

2.3 Hubungan Tekanan Uap, Waktu Perebusan Dan Kapasitas Terhadap Kualitas CPO

Kualitas minyak kelapa sawit dipengaruhi oleh variabel proses seperti tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas *sterilizer*. Tekanan uap yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengurangi efektivitas pelepasan minyak. Waktu perebusan yang ideal memastikan enzim terdeaktivasi tanpa merusak kualitas buah. Kapasitas *sterilizer* juga menentukan kecepatan dan efisiensi proses.

2.3.1 Hubungan tekanan uap terhadap kualitas CPO

Selain suhu atau *temperature*, yang mempengaruhi minyak sawit adalah tekanan yang digunakan pada stasiun *sterilizer*. Tekanan yang terlalu rendah akan menyebabkan menurunnya mutu minyak yang di hasilkan. Hal ini disebabkan oleh

uap panas tidak dapat menembus kedalam buah, sehingga buah sulit lepas dari spikletnya (I. Nugraha, 2023)

Fungsi utama uap dalam proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS) di industri kelapa sawit adalah untuk memberikan energi panas yang diperlukan untuk mengubah sifat fisik dan kimia buah sawit, sehingga mempermudah proses ekstraksi minyak. Berikut fungsi uap (*steam*) dalam proses perebusan tandan buah sawit:

1. Menonaktifkan enzim atau merusak enzim, dan menghentikan peragian yang dapat mengakibatkan pembentukan atau kenaikan asam lemak bebas
2. Membekukan getah dan protein
Pemanasan melalui perebusan di stasiun *sterilizer* dapat membekukan getah yang terdapat pada TBS. selain itu, suhu yang tinggi dapat membekukan protein
3. Memudahkan berondolan lepas dari tandan.
Untuk memudahkan pengambilan (ekstraksi) minyak, maka berondolan (buah) sawit harus dipisahkan dari tandannya. Pelepasan berondolan terjadi karena adanya *hidrolisa pectin* di pangkal buah.
4. Melunakkan daging buah agar mudah dilumatkan dalam digester
Pemanasan melalui perebusan di stasiun *sterilizer* akan menyebabkan serat pada kulut buah kelapa sawit menjadi mudah lepas
5. Mengurangi kadar air dalam buah sehingga meningkatkan efisiensi pemecahan pada biji sawit (nut).

6. Mengkondisikan daging buah agar sel minyak dapat terlepas untuk di ekstraksi.
7. Memudahkan proses pada selanjutnya, proses perebusan yang terjadi di stasiun sterilizer akan dapat membantu pelepasan serat dan biji (I. Nugraha, 2023).

Buah yang memar saat panen dan proses pengangkutan, serta buah yang telah lewat matang dapat meningkatkan oil losses dalam air kondensat. penurunan *oil losses* dengan cara meningkatkan tekanan pada stasiun sterilisasi. Pada kondisi operasi suhu 130°C dan tekanan 30 psi selama 1 jam menyebabkan buah memar dan terlalu matang lebih cepat menguap dan jumlah lemak yang terikut bersama air kondensat lebih banyak. Jika tekanan ditingkatkan hingga 70 psi dengan waktu yang lebih singkat, akan mempercepat pelepasan buah dan mencegah terikutnya minyak bersama air kondensat (Z. Zulhadi, 2022)

2.3.2 Hubungan waktu perebusan terhadap kualitas CPO

Menurut (I. Nugraha, 2023), Semakin lama proses perebusan, maka minyak yang keluar dari kulit brondolan (*mesocarp*) semakin banyak dan bercampur dengan air rebusan yang akhirnya keluar bersama-sama dengan air kondensat. Perebusan yang terlalu lama juga dapat menyebabkan minyak terkandung dalam air rebusan dan dapat terjadi emulsi minyak dengan air yang juga dapat menyebabkan buah menjadi gosong sehingga menurunkan kualitas minyak sawit. Untuk mencari kapasitas pada air kondensat yaitu 10 % dari kapasitas olah rebusan pada sterilizer:

$$\text{Waktu rebusan} = \text{oil losses}(\%) \times \text{kapasitas kondensat(kg)}$$

$$= \text{jumlah kehilangan minyak kondensat(kg)}$$

2.3.3 Hubungan kapasitas perebusan terhadap kualitas CPO

Kapasitas stasiun *sterilizer* merupakan kemampuan *sterilizer* dalam menyiapkan TBS yang sudah direbus dalam satuan waktu (ton/jam) (M. A. Purba, 2020)

tingginya persentase *oil loss* di kondensat adalah sebagai akibat waktu perebusan yang terlalu lama. Jika waktu proses deaerasi kurang optimal, maka persentase *oil losses* di *empty bunch* akan meningkat. Jadi, proses perebusan buah merupakan proses yang dapat menentukan *losses* minimal yang terjadi. (L. Masruroh, 2021).

2.4 Pengaruh Parameter proses terhadap Kerugian Minyak (*Oil Losses*)

Kerugian minyak (*oil losses*) merupakan salah satu indikator penting dalam evaluasi efisiensi proses sterilizer. Parameter seperti durasi perebusan yang terlalu Panjang atau tekanan uap yang tidak konsisten dapat meningkatkan *oil losses*. Pengelolaan variabel ini dapat membantu menekan kerugian minyak dan meningkatkan hasil produksi.

Menurut (M. Siregar, 2021) Salah satu sistem yang diterapkan oleh perusahaan untuk mendapatkan jumlah rendemen yang optimal adalah meminimalkan terjadinya kehilangan minyak (*oil losses*) pada *Crude Palm Oil* selama proses produksi. *Oil Losses* dapat terjadi di setiap stasiun proses pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) dikarenakan berbagai faktor.

Menurut (Z. Zulhadi, 2022) *Oil losses* adalah persentasi kehilangan minyak selama proses produksi. Perhitungan *oil losses* dengan menganalisis kandungan minyak dilihat dari pembuangan akhir (drab). Kandungan minyak semakin sedikit

kandungan minyak mengindikasikan *oil losses* yang rendah. Kehilangan minyak pada air kondensat di stasiun perebusan dan pembuangan akhir menggunakan *Soxhlet* berdasarkan metode SNI 01-2891-1992 (Nasional, 1992). Persiapan sample masih mengandung minyak, air serta solid untuk diaduk hingga homogen.

Perhitungan *oil losses* pada stasiun perebusan Kandungan lemak pada air kondensat dilakukan selama 5 hari untuk mendapatkan rata-rata perhari. Data kandungan lemak pada pembuangan akhir/ fat pit, diperoleh dari perusahaan. Penurunan *oil losses* adalah selisih kandungan lemak sebelum dan sesudah pemasangan bak penampung (%).

2.5 Metode Taguchi dalam optimasi proses Sterilizing

Ide atau gagasan dari Dr. Genichi Taguchi mengenai *quality engineering* telah digunakan selama beberapa tahun di Jepang. Pada tahun 1980-an ide beliau mengenai desain eksperimen telah diperkenalkan di dunia barat. Sasaran *quality engineering* adalah merancang kualitas ke dalam tiap-tiap produk dan proses yang sesuai.

Metode Taguchi merupakan usaha peningkatan kualitas yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses. Sasaran metode tersebut adalah menjadikan produk tidak sensitif terhadap variabel gangguan (*noise*), sehingga disebut sebagai *robust design* (P. Halimah, 2020).

tiga tahapan Metode Taguchi sebagai berikut :

1. Perancangan Sistem (*System Design*)
2. Perancangan Parameter (*Parameter Design*)

3. Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*)

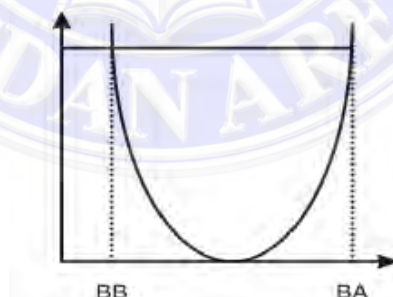
2.5.1 *Signal to Noise Ratio (S/N)*

Signal to Noise Ratio (S/N) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon. Taguchi menciptakan transformasi dari pengulangan data ke nilai lain yang merupakan ukuran dari variasi yang ada. Transformasinya adalah *signal to noise ratio* atau rasio S/N. Perhitungan Rasio S/N yang dilakukan tergantung dari karakteristik mutu yang dituju. Karakteristik kualitas adalah hasil dari proses yang berkaitan dengan kualitas. Taguchi membagi karakteristik kualitas menjadi 3 kategori, yaitu:

1. *Nominal is the best*

Fungsi ini digunakan apabila karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol (0) dan kerugian mutu simetrik pada kedua sisi target karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif.

Contoh: ketebalan, berat, tekanan, temperatur, dimensi produk, dan sebagainya.



Gambar 2. 7. Nilai S/N untuk *nominal is the best*

Nilai S/N untuk *nominal is the best* adalah:

$$S/NR = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

n = banyaknya ulangan dalam tiap eksperimen

y = nilai pada setiap *run*

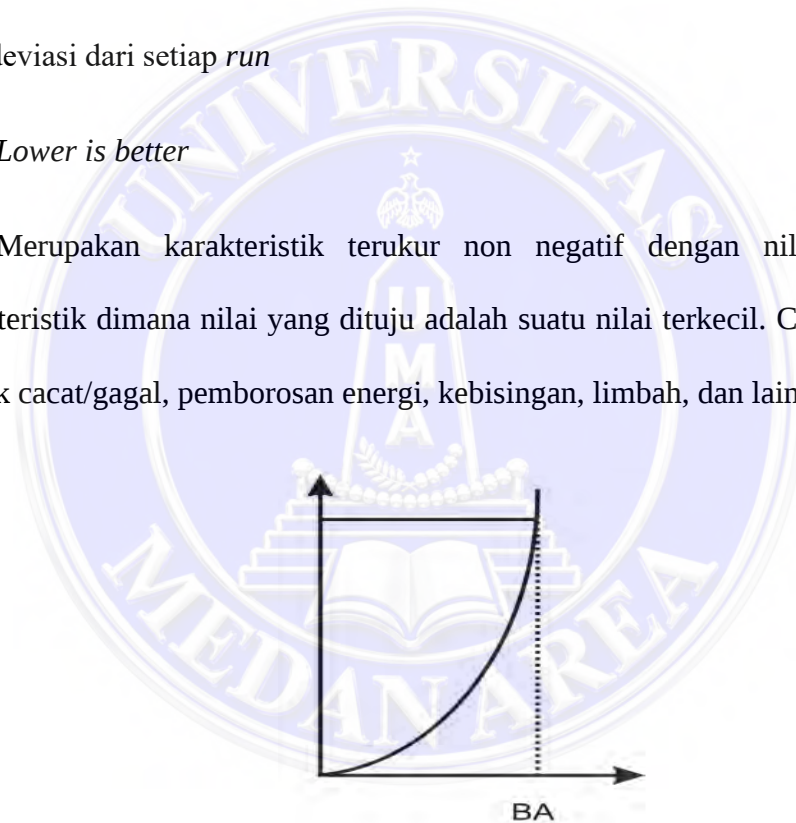
μ = rata-rata dari setiap *run*

σ^2 = deviasi dari setiap *run*

2. *Lower is better*

Merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol.

Karakteristik dimana nilai yang dituju adalah suatu nilai terkecil. Contoh: jumlah produk cacat/gagal, pemborosan energi, kebisingan, limbah, dan lain-lain.



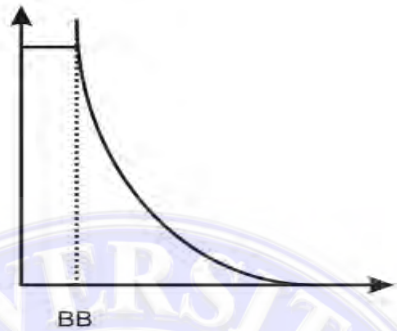
Gambar 2. 8. Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Lower is better*

Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Lower is better* adalah:

$$S/NR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

3. *Higher is better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Contohnya: kekuatan bangunan, ketahanan terhadap korosi, pemakaian bahan bakar per km, umur pemakaian produk, dan lainnya.



Gambar 2. 9. Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Higher is better*

Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Higher is better* adalah :

$$S/NR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

Metode Taguchi merupakan pendekatan eksperimental yang digunakan untuk mengoptimalkan parameter proses dengan mempertimbangkan efisiensi dan kualitas hasil. Pendekatan ini menggunakan desain *orthogonal* untuk mengidentifikasi pengaruh faktor-faktor utama seperti tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas sterilizer. Penggunaan metode Taguchi memungkinkan proses yang lebih efisien dan hasil yang konsisten.

2.6 Regresi Linier

2.6.1 Regresi linier sederhana

adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat (dependen; respon; Y) dengan satu atau lebih

variabel bebas (independen, prediktor, X). Apabila banyaknya variabel bebas hanya ada satu, disebut sebagai regresi linier sederhana, sedangkan apabila terdapat lebih dari 1 variabel bebas, disebut sebagai regresi linier berganda (R. I. Adam, 2019).

Analisis regresi setidaknya-tidaknya memiliki 3 kegunaan, yaitu untuk tujuan deskripsi dari fenomena data atau kasus yang sedang diteliti, untuk tujuan kontrol, serta untuk tujuan prediksi. Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Regresi juga dapat digunakan untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh. Selain itu, model regresi juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan prediksi untuk variabel terikat (R. I. Adam, 2019).

2.6.2 Regresi linier berganda

Regresi linier berganda merupakan model regresi linier yang melibatkan lebih dari satu variabel bebas atau independen yang biasanya diwakili oleh variabel X dan satu variabel respon atau dependen yang biasanya diwakilioleh variabel Y, teknik tersebut digunakan untuk ada tidaknya pengaruh signifikan dua atau lebih variabel bebas ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) terhadap variabel terikat (Y) (R. I. Adam, 2019).

2.7 Efisiensi Energi dalam Proses Produksi Minyak Kelapa Sawit

Secara umum proses pengolahan TBS hingga menjadi CPO terdiri dari beberapa stasiun pengolahan seperti stasiun *loading ramp*, stasiun *sterilizer*, stasiun *thresher*, stasiun *screw press*, stasiun *clarification*, stasiun penyimpanan CPO. Identifikasi pemborosan dalam pengolahan CPO dapat dilakukan melalui kombinasi konsep produksi ramping, VALSAT dan VSM (A. Adriansyah, 2018).

Konsep produksi ramping merupakan suatu usaha berkelanjutan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan pemborosan serta meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk barang atau jasa serta memberikan nilai kepada pelanggan. Pada intinya konsep tersebut menekankan pada pelaksanaan produksi yang efisien sehingga dapat menekan pengeluaran biaya dan pada akhirnya produsen dapat memperoleh keuntungan dari minimasi biaya tersebut. Secara umum terdapat tujuh jenis pemborosan dalam lingkungan manufaktur yaitu (A. Adriansyah, 2018):

1. produksi yang berlebih
2. menunggu
3. pengangkutan berlebih
4. proses yang tidak diinginkan
5. persediaan berlebih
6. gerakan berlebih
7. produk cacat

Selain ketujuh pemborosan tersebut, dalam analisis juga dapat ditambahkan jenis pemborosan kedelapan yang sering disebut istilah *waste 7+1*, yaitu *overall structure*. Jenis pemborosan tersebut meliputi desain yang tidak termanfaatkan. Dalam proses pengolahan kelapa sawit, terdapat beberapa tahapan siklus yang membutuhkan kontribusi energi listrik. Energi merupakan kemampuan dalam melakukan usaha (kerja) atau membuat perubahan energi (A. Adriansyah, 2018).

Ketel Uap (Boiler)

Boiler adalah suatu mesin pembakaran luar dan mengubah energi kimia yang dikandung bahan bakar menjadi panas uap dalam bejana tertutup dimana uap atau gas-gas lainnya diproduksi dengan penggunaan secara langsung kalor yang dihasilkan pembakaran. Prinsip dasar boiler adalah boiler ini harus mempunyai komponen-komponen utama yaitu dapur (furnance) dan evaporator. Kedua komponen tersebut telah dapat untuk memungkinkan sebuah boiler berfungsi. Namun untuk mendapatkan kinerja boiler yang lebih efektif maka diperlukan peralatan lain (M. Zunet, 2023).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu

Estimasi waktu yang direncanakan untuk melakukan penelitian ini dimulai dari November 2024 dengan persiapan dan berakhir di bulan Maret 2025 dengan sidang skripsi, Seperti yang di jelaskan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1. Tabel Penelitian

Aktivitas	tahun 2024		Tahun 2025										
	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov
Pengajuan judul													
Penulisan proposal													
Seminar proposal													
Proses penelitian													
Pengolahan data													
Penyelesaian laporan													
Seminar hasil													
Evaluasi dan persiapan													

Sidang sarjana						
----------------	--	--	--	--	--	--

3.1.2. Tempat

Tempat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Pabrik Kelapa Sawit yang ada di Sumatera Utara.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan ialah :

3.2.1. Bahan

a. Tandan Buah Segar (TBS)

3.2.2. Alat

a. Sterilizer

Sterilizer yang biasa disebut tempat perebusan Tandan Buah Segar (TBS) yang dimana didalam bejana digunakan uap bertekanan untuk merebus TBS.

berikut data desain *sterilizer*

Tabel 3. 2. Tabel Desain *Sterilizer*

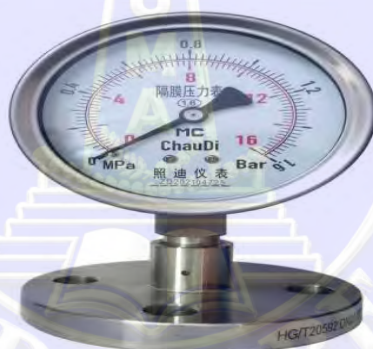
Data	Spesifikasi
Merk	Tecno
Model Perebusan	Horizontal
Kapasitas Produksi	25 ton
Type	Triple Peak
Tekanan Maksimal	3.5 kg/cm ²
Temperatur awal masuk steam	35°C
Panjang <i>Sterilizer</i>	28.970 mm
Diameter dalam	2.100 mm
Tebal Plat	15 mm



Gambar 3. 1. Stasiun Perebusan

b. *Pressure Gauge Sterilizer*

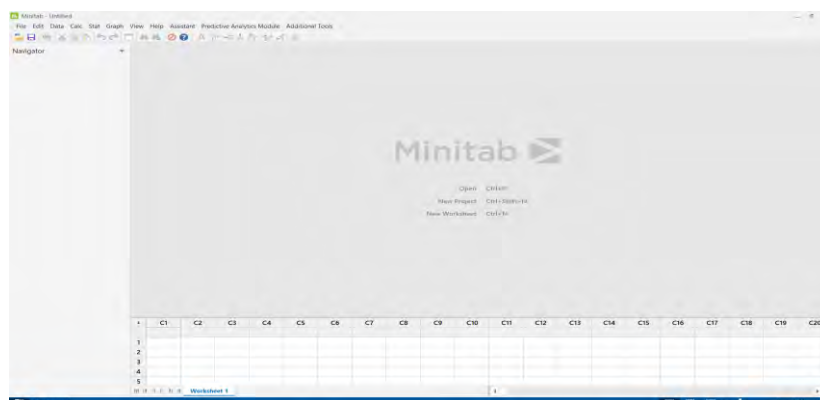
Pressure gauge yaitu alat pengukur tekanan uap atau instrumen yang digunakan untuk memantau dan mengukur tekanan dalam sistem tertutup.



Gambar 3. 2. *Pressure Gauge Sterilizer*

c. Perangkat lunak Minitab : Analisis data eksperimen

Software Minitab alat yang digunakan untuk analisis statistik untuk pengolahan data dengan berbagai metode statistik, seperti Anova, Analisis Regresi, dan perancangan percobaan (*design of experiments*). Minitab digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis variabel-variabel proses yang berpengaruh penting terhadap konsumsi uap pada *sterilizer*.



Gambar 3. 3. *Software Minitab.*

3.3 Metode Penelitian

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

1. Metode survei/observasi untuk mengumpulkan data dengan melihat subjek penelitian secara langsung.
2. Metode wawancara untuk mengumpulkan data dengan berbicara/bertanya kepada pekerja maupun operator lapangan.
3. Studi Pustaka atau biasa disebut studi literatur, ialah metode pengumpulan data dengan mempelajari buku-buku yang telah ditulis sebelumnya tentang topik yang akan dibahas

3.3.1. Desain Eksperimen dengan Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* digunakan untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal dengan meminimalkan variabilitas hasil. Desain eksperimen akan mencakup pengaturan variabel seperti tekanan uap, waktu perebusan dan kapasitas perebusan *sterilizer*. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pengaruh masing-masing parameter penggunaan uap.

3.3.2. Pengukuran Efisiensi Energi dan Kebutuhan Uap

Data kebutuhan uap dikumpulkan berdasarkan pengukuran tekanan dan volume yang digunakan dalam proses *sterilizer*. Analisis dilakukan untuk menentukan titik operasi yang paling efisien. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar untuk merancang perbaikan sistem

3.4. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siklus perebusan tandan buah segar (TBS) yang dilakukan di sterilizer pabrik kelapa sawit yang berada di Sumatera Utara untuk tempat penelitian dilakukan. Populasi mencakup seluruh parameter proses, seperti tekanan uap, waktu perebusan, dan kapasitas *sterilizer* yang digunakan dalam operasional sehari-hari

Tabel 3. 3. Populasi dan Sampel

No	Parameter	Populasi	Sampel
1	Tekanan Uap (<i>Pressure</i>)	?	?
2	Waktu Perebusan (<i>Duration</i>)	?	?
3	Kapasitas <i>Sterilizer</i>	?	?

Tabel 3. 4. Desain Percobaan

No	X1 Tekanan Uap (<i>Pressure</i>)	X2 Waktu Perebusan (<i>Duration</i>)	X3 Kapasitas <i>Sterilizer</i>	Y1 Konsumsi Uap	Y2
1	?	?	?	?	?
2	?	?	?	?	?
3	?	?	?	?	?

3.5 Prosedur Kerja

Berikut adalah prosedur kerja penelitian untuk Optimalisasi Penggunaan uap di *sterilizer* pabrik kelapa sawit Menggunakan metode Taguchi :

1. Pengumpulan Data Lapangan

- a. Mencatat parameter operasi perebusan untuk setiap siklus
- b. Mengambil data historis atau *real-time* dari panel kontrol *sterilizer* terkait tekanan uap (bar), durasi perebusan (menit), kapasitas tandan buah sawit.

2. Menentukan parameter dan Level variasi (3 parameter utama)

- a. Tekanan uap : 2.6 bar, 2.8 bar, 3.0 bar
- b. Waktu perebusan : 49 menit, 53 menit, 57 menit
- c. Kapasitas perebusan : 20 ton, 22.5 ton, 25 ton

3. Penyusunan desain eksperimen taguchi

- a. Menggunakan *orthogonal array* L9 (3 faktor x 3 level)
- b. Menyusun tabel kombinasi eksperimen (9 eksperimen)

4. Perhitungan konsumsi uap

- a. Menghitung jumlah panas yang mengalir dengan persamaan :

$$q = k . S . \Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

q = aliran kalor

k = konduktifitas termal untuk uap cair (jenuh)= 0,0206 W/m.°C

s = faktor bentuk konduksi

ΔT = selisih temperatur (°C) yaitu selisih temperatur uap masuk *sterilizer* dengan temperatur udara standart (*atmosfer*).

- b. Mencari nilai konduksi menggunakan persamaan :

$$S = \frac{2\pi L}{\ln (r_o/r_i)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

S = faktor konduksi

L = panjang silinder *sterilizer* (m)

r_o = jari – jari luar *sterilizer* (m)

r_i = jari – jari dalam *sterilizer* (m)

- c. Menghitung penggunaan uap berdasarkan besarnya panas yang diperlukan pada *sterilizer* dengan persamaan :

$$m_u = \frac{Q^{tot}}{h_g - h_x} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

M_u = massa aliran uap (kg/jam)

Q_{tot} = panas yang diperlukan untuk proses perebusan (Kkal/jam)

h_g = *enthalpy* uap masuk *sterilizer* (Kkal/kg)

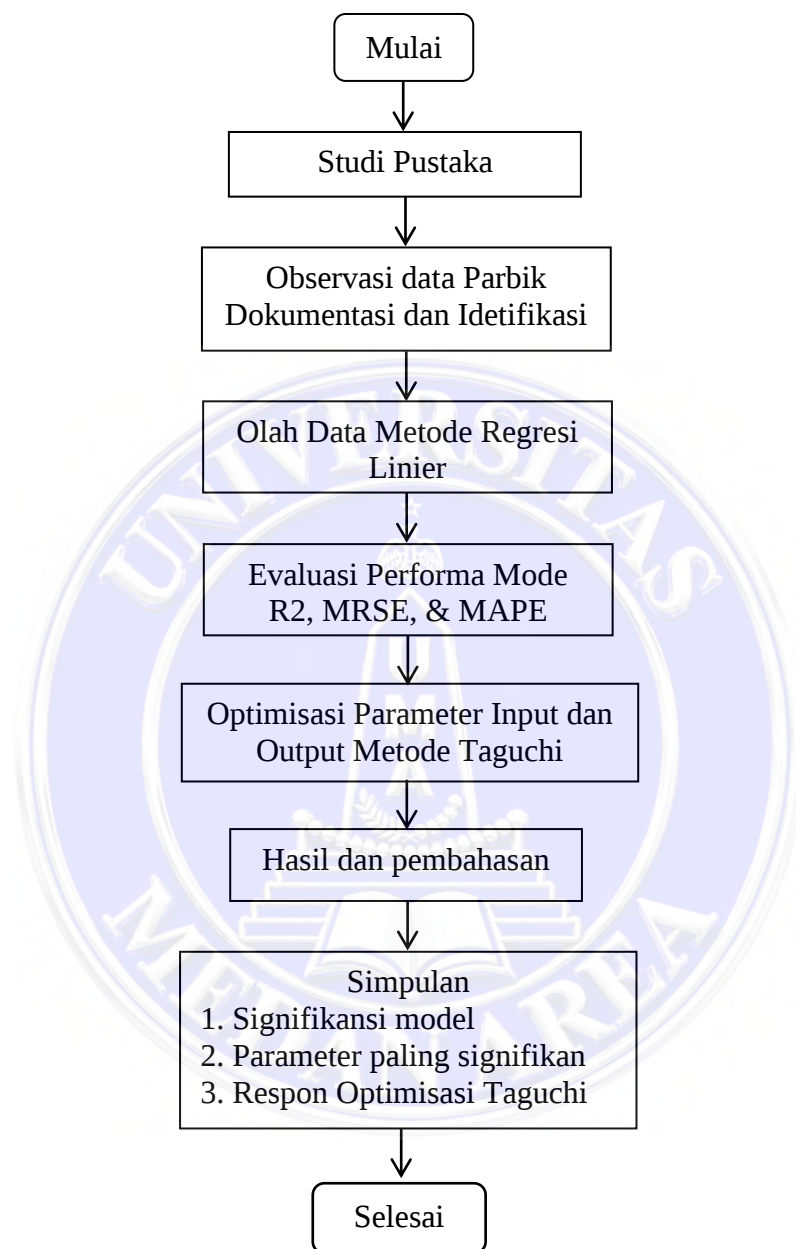
h_x = *enthalpy* kondensate keluar *sterilizer* (Kkal/kg)

5. Input data dengan minitab sesuai tabel L9
 - a. Melakukan regresi linier berganda untuk melihat hubungan antara tekanan, waktu perebusan, dan kapasitas terhadap konsumsi uap
 - b. Lakukan analisis S/N ratio untuk mengetahui faktor paling berpengaruh terhadap konsumsi uap

6. Validasi hasil dan interpretasi

Melakukan interpretasi hasil : faktor dominan, nilai optimal

3.5.1. Diagram alir penelitian



Gambar 3. 4. Diagram alir Penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai optimisasi penggunaan uap optimal di Puncak ketiga (*Peak III*) pada proses perebusan Tandan Buah Segar (TBS) di stasiun perebusan dengan metode Taguchi dan Regresi linier diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Faktor yang mempengaruhi penggunaan uap adalah tekanan uap, waktu perebusan, kapasitas *sterilizer*. Dari hasil analisis, parameter yang paling dominan adalah kapasitas sterilizer, diikuti oleh waktu perebusan, sedangkan tekanan uap tidak berpengaruh signifikan secara statistik.
2. Untuk kombinasi parameter optimal berdasarkan metode *Taguchi* dengan kriteria *smaller is better* diperoleh pada Tekanan 2.8 kg/cm², waktu perebusan 49 menit dan kapasitas sterilizer 25 ton dengan penggunaan uap 1.5232 kg/ton TBS.
3. Validitas model regresi linier sangat akurat dengan R² sebesar 99.56% dan *Mean Absolute Percentage Error* 0.59%, sehingga layak dipakai untuk prediksi penggunaan uap optimal pada variasi parameter proses.

5.2. SARAN

1. Penulis menyarankan agar pihak pabrik mempertimbangkan untuk menerapkan kombinasi parameter perebusan dengan waktu 49 menit serta kapasitas *sterilizer* 25 ton dan tekanan 2.8kg/cm², karena terbukti efektif dalam menurunkan penggunaan uap.

2. Perusahaan disarankan untuk melakukan pemeliharaan rutin pada sistem perpipaan di stasiun perebusan, kebocoran yang ditemukan pada saat observasi menunjukkan adanya potensi pemborosan uap.
3. Untuk peneliti selanjutnya disarankan untuk optimasi di *Peak I* dan *Peak II* supaya hasilnya lebih menyeluruh.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Latif Mubarak, A. Sofwan, and P. Bismantolo, "Analisa Performa Kerja Sterilizer of Crude Palm Oil," *Rekayasa Mek.*, vol. 6, no. 1, pp. 39–50, 2022, doi: 10.33369/rekayasamekanika.v6i1.25455.
- A. S. Putri and D. A. Sari, "Analysis of heat loss in wall insulators and sterilizer door covers in palm oil processing factories," *Int. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 82–91, 2023, doi: 10.35335/ijobas.v12i2.265.
- A. Adriansyah, A. Sutanto, and B. Yuliandra, "Aplikasi Konsep Produksi Ramping untuk Memperbaiki Efisiensi Pengolahan Minyak Kelapa Sawit," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 11, no. 2, p. 36, 2018, doi: 10.24843/jem.2018.v11.i02.p01.
- C. Simanungkalit, "Analisis Kebutuhan Uap Pada Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Dengan Lama Perebusan 90 Menit," 2024.
- E. Indarti, D. A. Zulmi, Z. Zaidiyah, and Z. Zulhadi, "Recovery air kondensat pada stasiun perebusan untuk menekan oil losses: studi kasus PKS Cot Girek," *Agrointek J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 16, no. 2, pp. 145–152, 2022, doi: 10.21107/agrointek.v16i2.11050.
- Hermiza, M. (2021). Proses Perebusan Kelapa Sawit pada Stasiun Sterilizer (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 10(1), 43-48.
- I. Nugraha, G. Supriyanto, and Priyambada, "Pengaruh Lama Waktu Penaikan Setiap Puncak Kehilangan Minyak (Oil Losses) pada Air Rebusan di PKS Adolina Sumatera Utara," *Agroforetech*, vol. 1, no. 3, pp. 2040–2050, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/797>
- I. S. Haq and M. A. Purba, "Kajian Penyebab Kerusakan Door Packing pada Tabung Sterilizer Menggunakan Metode Root Cause Analysis (RCA) di Sungai Kupang Mill," *J. Vokasi Teknol. Ind.*, vol. 2, no. 2, 2020, doi: 10.36870/jvti.v2i2.177.
- J. Edi Siswanto and T. A., "Analisis Kebutuhan Uap Pada Stasiun Sterilizer Di Pabrik Kelapa Sawit," *J. Teknol. dan Vokasi*, vol. 1, no. 2, pp. 12–22, 2023, doi: 10.21063/jtv.2023.1.2.2.
- M. ZUNET *et al.*, "Pengukuran Tingkat Kritis Komponen Boiler," *J. Unitek*, vol. 16, no. 1, p. 2023, 2023.
- Nofirza, R. Susanti, D. S. Ramadhan, P. P. Arwi, and M. Siregar, "Analisis Oil Losses Pada Stasiun Perebusan Produksi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Metode Statistical Process Control (SPC)," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 98–110, 2023, doi: 10.55826/tmit.v2i2.67.

- Fadillah, N. (2018). Pengaruh Tekanan Steam Pada Perebusan Tandan Buah Segar (TBS). Universitas Sumatera Utara.
- P. Halimah and Y. Ekawati, “Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang,” *JIEMS (Journal Ind. Eng. Manag. Syst.*, vol. 13, no. 1, pp. 13–26, 2020, doi: 10.30813/jiems.v13i1.1694.
- Sitepu Tekad, “Analisa Kebutuhan Uap Pada Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Dengan Lama Perebusan 90 Menit,” *J. Din.*, vol. II, no. 8, pp. 27–32, 2011.
- T. N. Padilah and R. I. Adam, “Analisis Regresi Linier Berganda Dalam Estimasi Produktivitas Tanaman Padi Di Kabupaten Karawang,” *FIBONACCI J. Pendidik. Mat. dan Mat.*, vol. 5, no. 2, p. 117, 2019, doi: 10.24853/fbc.5.2.117-128.
- Wahyudi, A., Murhaban, M., Marbun, M., & Tripoli, B. (2022). Analisa Kebutuhan Steam Di Stasiun Sterilizer Dengan Sistim Perebusan 90 Menit Di PT. ASN (Agro Sinergi Nusantara). *Jurnal Mahasiswa Mesin*, 1(1), 96-103.

