

LEMBAR PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN (AI)

Nama : Reo Pebriano

NIM : 20911

Prodi : Teknologi Pertanian

Judul : analisis pengaruh fraksi buah terhadap *oil losses* dan pengendalian proses perebusan di pabrik kelapa sawit pt axy

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Saya menggunakan bantuan teknologi Kecerdasan Buatan (AI) dalam penyusunan tugas akhir (skripsi/tesis) ini untuk menunjang penelitian saya.
2. Seluruh instruksi atau prompt yang digunakan dalam proses tersebut telah saya lampirkan pada bagian lampiran dokumen ini.
3. Saya menyadari bahwa meskipun menggunakan bantuan AI, tanggung jawab penuh atas isi, keaslian, dan kebenaran ilmiah dari tugas akhir (skripsi/tesis) ini sepenuhnya berada di tangan saya sebagai penulis.
4. Saya memastikan bahwa tidak ada pelanggaran etika akademik seperti plagiarisme dan bahwa penggunaan AI dilakukan secara bertanggung jawab dan sesuai dengan pedoman akademik yang berlaku di lingkungan INSTIPER.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan penuh tanggung jawab untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 22 Juli 2026
Yang Menyatakan,



(Reo Febrian)

DAFTAR REFERENSI BESERTA LINK AKSESNYA

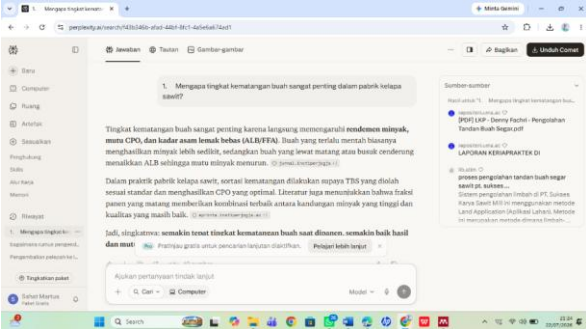
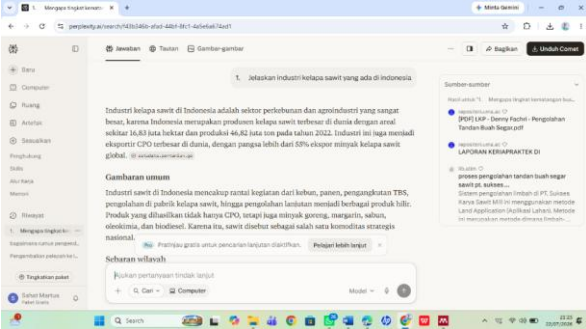
Alparisi, S. I. (2021). Kajian oil losses pada stasiun tilting sterilizer dalam pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi Crude Palm Oil (CPO). <i>Doctoral Dissertation, Univeritas Jambi</i> , 1–4. https://repository.unja.ac.id/id/eprint/25002	https://repository.unja.ac.id/id/eprint/25002
Darma, A. Y., Laila, L., & Karuniawan, A. (2021). Penggunaan Metode Failure Mode And Effect Analysis Untuk Mengidentifikasi Kegagalan Dan Pemilihan Tindakan Perawatan (Kasus Stasiun Klarifikasi Pabrik Kelapa Sawit Langling). <i>Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)</i> , 3(1), 31–35.	https://drive.google.com/file/d/1M2IRVIINVqdJp7l4PEtEIDr0kGbFm5AD/view?usp=drive_link
Darma, A. Y., Laila, L., & Zulfikar, G. (2020). Menentukan keandalan mesin digester dan screw press menggunakan metode failure mode and effect analysis dan reliability block diagram. <i>Prosiding Seminar Nasional NCIET, I(1)</i> , 143–159.	https://drive.google.com/file/d/1am8hCOA64mKqXzfwBKJA4RWBS8FkhGUg/view?usp=drive_link

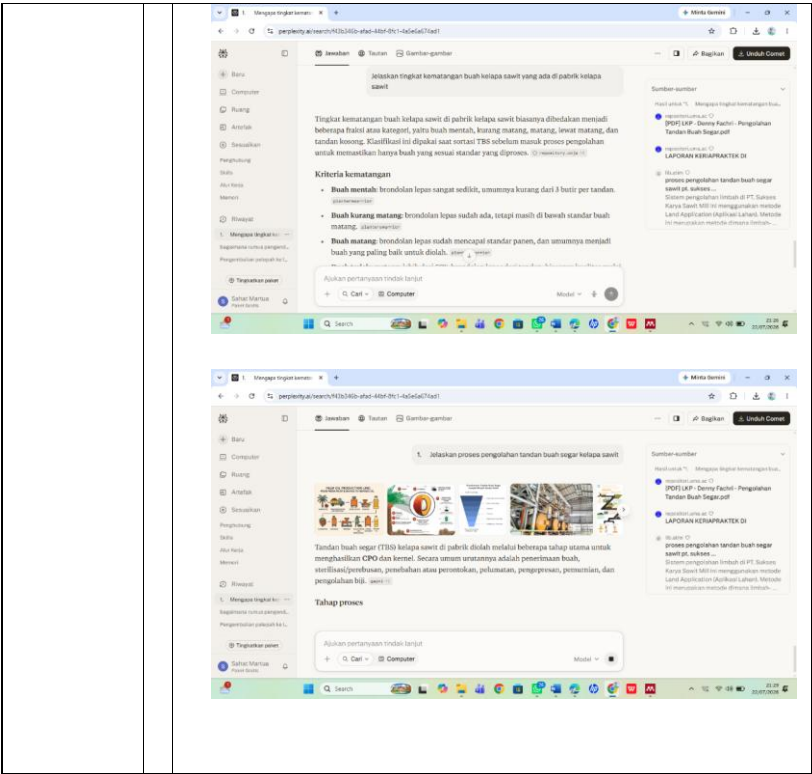
Hairiyah, N., Amalia, R. R., & Wijaya, A. (2014). Nalisis total productive maintenance (TPM) pada stasiun kernel crushing plant(kcp) di PT. X. <i>Jurnal Teknologi Pertanian Andalas</i>, 23(1), 103–110. https://doi.org/doi.org/10.25077/jtpa.23.1.103-110.2019	https://pdfs.semanticscholar.org/2917/3964be8b6a1d3bd79d22137d09ea2c45fc54.pdf
Hani, S. N., Hermantoro, & Purwoto, H. (2025). Analisis Pengelolaan Lingkungan Perkebunan Kelapa Sawit Dalam Implementasi Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO). <i>AGROFORETECH</i>, 3(1), 402–410. https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/1836	https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/1836
Lumbantoruan, R., & Purba, J. S. (2025). Pengaruh Tekanan Uap Saat Proses Perebusan Terhadap Tandan Buah Segar Dan Dinding Sterilizer Reynold. <i>Ikra-Ith Humaniora: Jurnal Sosial Dan Humaniora</i>, 9(3), 1946–1953. https://doi.org/doi.org/10.37817/ikraith-humaniora.v9i3	https://drive.google.com/file/d/1atVtI4ruMxCb_cCi5UfsXGK3H9MVy4ID/view?usp=drive_link

Maimun, T., Arahman, N., Hsb, F. A., & Rahayu, P. (2017). Penghambatan peningkatan kadar asam lemak bebas (free fatty acid) pada buah kelapa sawit dengan menggunakan asap cair. <i>Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia</i>, 9(2), 44–49. https://doi.org/doi.org/10.17969/jtipi.v9i2.8469	https://drive.google.com/file/d/1WNzi11ZUbxrJFbdsaAiLmrzoNKn9JTkl/view?usp=drive_link
Masruroh, L., & Mardesci, H. (2021). Proses perebusan kelapa sawit pada stasiun sterilizer (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). <i>Jurnal Teknologi Pertanian</i>, 10(1), 43–48.	https://drive.google.com/file/d/1wBO5kpYm803cobgNw4OdUivLtMFIOtcs/view?usp=drive_link
Nasution, M. A., Hasibuan, H. A., & Yudanto, B. G. (2011). Komparasi sterilizer konvensional dan modern. <i>Conference Paper</i>.	https://drive.google.com/file/d/1jFsCFCSHsro90SpIrJ12dxuR_rV0CXsj/view?usp=drive_link
Nurrahman, A., Permana, E., & Musdalifah, A. (2021). Analisa Kehilangan Minyak (Oil Losses) Pada Proses Produksi Di Pt X. <i>Jurnal Daur Lingkungan</i>, 4(2), 59–63. https://doi.org/10.33087/daurling.v4i2.89	https://doi.org/10.33087/daurling.v4i2.89
Prabowo, M., & Ihsan, T. (2023). Penerapan metode reliability centered maintenance (RCM) untuk mengoptimalkan waktu c-check casa 212-400 i. <i>Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri</i>, 3(2), 1639–1650.	https://drive.google.com/file/d/14VAg_kwqZRPkmEGRtTMCuLEx8DWAkVa/view?usp=drive_link

Purba, B., Zahra, D. A., Almas, K. U., Sihotang, S. E. A., & Mardiah, S. (2025). Pengaruh Ekspor Minyak Kelapa Sawit Terhadap. <i>Economicus: Jurnal Ekonomi Dan Manajemen</i>, 15(2), 01–10. https://doi.org/10.47860/Economicus.V15i2.1	https://drive.google.com/file/d/1QW-rW1kuYbe1NZZEhIOb8Thg5POUYou-/view?usp=drive_link
Rico, M., Ulfa, M., & Widyowanti, R. A. (2025). Kajian Penggunaan Tilting Sterilizer Horizontal di Pabrik Kelapa Sawit PT OXY. <i>AGROFORETECH</i>, 3(4), 2048–2060. https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/2287/1349	https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/2287/1349
Sari, N. J. (2026). Analisis kadar air dan alb pada berbagai posisi sampling dalam storage tank Crude Palm Oil (CPO). <i>Doctoral Dissertation</i>, Universitas Muhammadiyah Malang. http://eprints.umm.ac.id/id/eprint/31309/1/SKRIPSI.pdf.pdf	http://eprints.umm.ac.id/id/eprint/31309/1/SKRIPSI.pdf.pdf
Saukani, M. A., Apriyanti, S. N., Butar-Butar, R., Manurung, E. F., Putra, P. D. D., Raja6, P. M., Purwanto, H., Zakwan, & Rahimah. (2025). Analisa kehilangan minyak (oil losses) pada proses produksi di pabrik kelapa sawit. <i>Jurnal Agro Fabrika</i>, 7(1), 84–94. https://ejurnal.itsi.ac.id/index.php/JAF/article/view/307/249	https://drive.google.com/file/d/1kCml53dNpVkvCJML5rz_klar1xrVVbw1/view?usp=drive_link

Siregar, A. W., & Hasibuan, N. F. A. (2024). Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku Tandan Buah Segar (Tbs) Dalam Menunjang Efektivitas Pengelolaan Persediaan Pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit (Ppks) Medan. <i>Jurnal Riset Ilmu Akuntansi</i>, 3(1), 01–19. https://doi.org/10.55606/Akuntansi.V2i4.1450	https://drive.google.com/file/d/1HEo7XbX1D1MVmXjbEOc0ga6aBhwUCJgQ/view?usp=drive_link
Subiyanto. (2012). Pemilihan teknologi sterilizer pada pabrik kelapa sawit menggunakan metode analytical hierarchy process. <i>Jurnal Teknik Industri</i>, 14(2), 159–172. https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol14.No2.160-173	https://drive.google.com/file/d/14L5i2K5V-fANleTvv9oITITXFOk0254T/view?usp=drive_link

		PEMAKAIAN AI
Tools	:	perplexity.ai
Prompt	:	1. Mengapa tingkat kematangan buah sangat penting dalam pabrik kelapa sawit? 2. Jelaskan industri kelapa sawit yang ada di Indonesia 3. Jelaskan tingkat kematangan buah kelapa sawit yang ada di pabrik kelapa sawit. 4. Jelaskan proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit 5. Apa yang dimaksud dengan stasiun perontokan yang ada di pabrik kelapa sawit 6. Jelaskan proses dari stasiun pengepresan yang ada di pabrik kelapa sawit 7. Jelaskan proses yang ada di stasiun pemurnian kelapa sawit
Capture Prompt	:	 



SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH FRAKSI BUAH TERHADAP *OIL LOSSES* DAN
PENGENDALIAN PROSES PEREBUSAN DI PABRIK KELAPA SAWIT**

PT AXY



REO PEBRIANO
19/20911/THP/STPK

**SARJANA TEKNOLOGI PENGOLAHAN KELAPA SAWIT DAN
TURUNANNYA JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN STIPER
YOGYAKARTA**

2026

SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH FRAKSI BUAH TERHADAP *OIL LOSSES* DAN
PENGENDALIAN PROSES PEREBUSAN DI PABRIK KELAPA SAWIT
PT AXY



SARJANA TEKNOLOGI PENGOLAHAN KELAPA SAWIT DAN
TURUNANNYA
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN STIPER
YOGYAKARTA
2026

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PENGARUH FRAKSI BUAH TERHADAP *OIL LOSSES* DAN
PENGENDALIAN PROSES PEREBUSAN DI PABRIK KELAPA SAWIT
PT AXY

Disusun Oleh

Reo Pebriano

19/20911/THP/STPK

Telah dipertahankan di hadapan Dosen Penguji Pada tanggal 3 Juli 2026
Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu Persyaratan yang diperlakukan untuk
memperoleh gelar Sarjana Starata Satu (S1) pada Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian STIPER Yogyakarta

Yogyakarta, 20 Juli 2026

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

(Dr. Ngatirah, S.P.,M.P.)
M.M.)

(Ir. Erista Adi Setya,

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian

(Dr. Ngatirah SP., MP.)

KATA PENGANTAR

Puji syukur terhadap kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PT AXY yang berada di Kecamatan Kota Pinang Kabupaten Labuhan Batu Selatan, Provinsi Sumatera Utara. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama bulan September (selama 30 hari).

Dengan selesainya skripsi ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini kepada :

1. Dr. Ir. Harsawardana, M. Eng. selaku Rektor Institut Pertanian Stiper Yogyakarta.
2. Dr. Ngatirah, S.P.,M.P. selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Stiper Yogyakarta.
3. Reza Widyasaputra, S.TP., M.Si selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian.
4. Dr. Ngatirah, S.P., M.P. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu, membimbing dalam berbagai bidang akademik dan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.
5. Ir. Erista Adi Setya, M.M. selaku dosen penguji yang telah banyak membimbing.

6. Kepada kedua orang tua saya, yang telah menjadi sumber semangat dan kekuatan dalam setiap langkah hidup penyusun. Terima kasih atas segala doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tulus, serta dukungan moral dan materiil yang telah diberikan sepanjang perjalanan ini. Keteguhan, kesabaran, dan pengorbanan kalian menjadi alasan utama penyusun mampu menyelesaikan pendidikan hingga tahap ini dan tidak lupa untuk keluarga besar yang telah membantu banyak hal untuk membantu jalannya perkuliahan ini. Capaian ini penyusun persembahkan sepenuhnya sebagai bentuk rasa hormat dan bakti kepada kedua orang tua. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan cinta kalian dengan limpahan rahmat dan keberkahan yang tiada henti.
7. Seluruh dosen Fakultas Teknologi pertanian, jurusan Teknologi Hasil Pertanian yang telah banyak memberikan ilmu.
8. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Teknologi Pertanian yang telah membantu dalam proses awal perkuliahan sampai saat ini.
9. Khalid Maulana, Aap Hidayah Maesa, Aldo Lesmana, Bayu Setiawan, Noval, Rendi Enggar Prabowo, Ari Hadi Prihandoko, M. Ridwan, Riyan, Belino Pandiangan, Doly Ardiansyah Rambe, Daniel Jaya Syahputra, Ahmad Malik, yang telah mewarnai dalam dunia perkuliahan baik suka maupun duka, semoga kalian diberikan kesehatan dan diberikan nikmat panjang umur.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan sumbangsih dari pembaca berupa masukan dan saran yang membangun.

Harapan penyusun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun dan siapa saja yang membaca.

Yogyakarta, 3 Juni 2026

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Industri Kelapa Sawit di Indonesia.....	7
B. Pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) di Pabrik Kelapa Sawit.....	8
C. <i>Sterilizer</i> Konvensional <i>Horizontal</i> Dan <i>Tilting sterilizer Horizontal</i>	28
D. Parameter Keberhasilan Sterilisasi	38
E. Analisis Ekonomi dalam Operasional Pabrik Kelapa Sawit.....	41
F. Penelitian Terdahulu.....	44

III. METODE PENELITIAN	46
A. Tempat dan Waktu Penelitian	46
B. Alat dan Bahan	46
C. Pengumpulan Data	46
D. Pengolahan Data	47
E. Prosedur Penelitian	48
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Tekanan Uap (<i>Steam</i>)	55
B. Asam Lemak Bebas (FFA)	57
C. Rendemen <i>Crude Palm Oil</i> (CPO)	60
D. <i>Oil Losses</i>	62
E. Perbandingan Biaya Operasional	70
F. Peningkatan Hasil Produksi Rendemen CPO	69
G. Analisis Ekonomi Terhadap Penggunaan <i>Sterilizer</i> Konvensional <i>horizontal</i> Dan <i>Tilting Sterilizer Horizontal</i>	71
H. Data Awal/Utama Analisis Ekonomi Terhadap Penggunaan <i>Tilting Sterilizer Horizontal</i>	71
V. KESIMPULAN DAN SARAN	79
A. Kesimpulan	79
B. Saran	80

DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu.....	45
Tabel 2. Indikator Penelitian.....	51
Tabel 3. Tekanan Uap (<i>Steam</i>)	56
Tabel 4. Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)	59
Tabel 5. Rendemen CPO.....	61
Tabel 6. <i>Oil Losses</i>	67
Tabel 7. Perhitungan OER Dan Pendapatan CPO.....	69
Tabel 8. Biaya Operasional Metode <i>Sterilizer Konvensional Horizontal</i> Dan <i>Tilting Sterilizer Horizontal</i>	70
Tabel 9. Data Awal/Utama Analisis Ekonomi	72
Tabel 10. Hasil Analisis <i>Break Event Point</i> (BEB)	74
Tabel 11. Hasil Analisis <i>Payback Periode</i> (PP)	76
Tabel 12. Hasil Analisis <i>Net Present Value</i> (NPV).....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Stasiun penerimaan buah.....	9
Gambar 2. <i>Sterilizer</i> konvensional <i>horizontal</i>	10
Gambar 3 <i>Sterilizer</i> Vertikal	12
Gambar 4. <i>Tilting Sterilizer Horizontal</i>	15
Gambar 5. Proses Pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS) Dari <i>Loading Ramp</i> Ke <i>Tilting Sterilizer Horizontal</i> Menggunakan <i>Conveyor</i> ...	17
Gambar 6. Panel <i>Steam Control</i>	17
Gambar 7. <i>Sterilizer</i> Kontinyu	22
Gambar 8. Diagram alir penelitian terhadap penggunaan <i>sterilizer</i> konvensional <i>horizontal</i> dan <i>tilting sterilizer horizontal</i>	50

**ANALISIS PENGARUH FRAKSI BUAH TERHADAP *OIL LOSSES* DAN
PENGENDALIAN PROSES PEREBUSAN DI PABRIK KELAPA SAWIT
PT AXY**

Reo Pebriano¹, Dr. Ngatirah, S.P., M.P.² Ir. Erista Adi Setya, M.M.²

Email: febrianoreo511@gmail.com

ABSTRAK

Industri kelapa sawit perlu mengendalikan kehilangan minyak (*oil losses*) agar rendemen crude palm oil (CPO) dapat dipertahankan tanpa meningkatkan pemborosan energi dan biaya proses. *Oil losses* pada stasiun perebusan dipengaruhi oleh mutu tandan buah segar (TBS), tingkat kematangan buah, kerusakan mekanis, serta kecukupan parameter perebusan, terutama tekanan dan lama perebusan. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan fraksi buah dan parameter perebusan tilting sterilizer terhadap *oil losses* serta mengevaluasi konsistensi pengendalian proses perebusan di Pabrik Kelapa Sawit PT AXY. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan 85 pengamatan yang mencakup *oil losses*, tekanan, lama perebusan, persentase buah matang, setengah matang, mentah, dan lewat matang. Analisis dilakukan melalui statistik deskriptif, korelasi Pearson, regresi linear berganda, serta peta kendali. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata *oil losses* sebesar 0,6794%, rata-rata tekanan 2,7828 bar, dan rata-rata lama perebusan 84,93 menit. Komposisi buah didominasi buah matang sebesar 68,50%, diikuti buah setengah matang 21,24%, buah lewat matang 6,37%, dan buah mentah 3,88%. Komposisi fraksi buah tidak berpengaruh terhadap *oil losses*, tekanan dan lama perebusan. Model hubungan antara variabel fraksi buah dengan *oil losses* adalah $Y = 4,410 + 0,080(X_1) - (0,001)(X_2) - (0,039)(X_3) - (0,038)(X_4) - (0,044)(X_5) - (0,031)(X_6)$. Pengendalian proses perebusan di PT AXY menunjukkan inkonsistensi suhu perebusan dan tekanan namun ada satu pengamatan yang ada diluar batas kendali.

Kata kunci: fraksi buah, *oil losses*, perebusan, kelapa sawit, rendemen minyak.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan komoditas strategis bagi Indonesia karena berperan dalam penyediaan bahan baku pangan, oleokimia, bioenergi, ekspor, dan penyerapan tenaga kerja. Pada tingkat pabrik kelapa sawit, tantangan utama bukan hanya meningkatkan kapasitas olah, tetapi juga menjaga efisiensi ekstraksi minyak dan mutu CPO. Salah satu indikator efisiensi yang penting adalah oil losses, yaitu minyak yang masih terbawa pada aliran limbah atau produk samping seperti kondensat, tandan kosong, serabut, sludge, dan nut.

Tingkat kematangan Tandan Buah Segar (TBS) merupakan faktor penting karena berhubungan dengan kandungan minyak, kemudahan pelepasan buah dari tandan, dan mutu minyak. Hasibuan (2020) menunjukkan bahwa kematangan TBS memengaruhi rendemen dan mutu CPO; kriteria matang optimal dapat dicapai pada buah dengan jumlah brondolan yang sesuai. Buah mentah cenderung memiliki kandungan minyak yang belum optimal, sedangkan buah lewat matang dan buah rusak lebih berisiko mengalami peningkatan asam lemak bebas (ALB) serta kehilangan minyak akibat kerusakan jaringan buah.

Proses penerimaan buah di PT AXY terbagi menjadi dua kategori, yaitu buah internal (hasil kebun sendiri) dan juga buah eksternal (dari pemasok luar). Adapun untuk kualitas buah internal sepenuhnya berada dibawah kendali manajemen perusahaan sehingga kualitas buah sudah memenuhi standar grading tetapi tetap dilakukan sortasi dan grading pada stasiun penerimaan

Commented [SM1]: 1. Mengapa tingkat kematangan buah sangat penting dalam pabrik kelapa sawit?

buah sedangkan untuk kualitas buah eksternal lebih bervariasi dan memerlukan grading yang lebih ketat di stasiun penerimaan buah. Adapun komposisi buah di PT AXY didominasi buah matang sebesar 68,50%, diikuti buah setengah matang 21,24%, buah lewat matang 6,37%, dan buah mentah 3,88%.

Adapun hubungan antara komposisi buah pada proses perebusan yaitu ketika komposisi buah didominasi oleh buah mentah atau buah setengah matang akan menyebabkan proses perebusan memerlukan waktu yang lebih lama dan juga tekanan yang diberikan akan lebih tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan variasi tekanan, lama perebusan menggunakan analisis peta kendali.

Selain mutu bahan baku, proses perebusan merupakan titik kritis dalam pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO). Perebusan menggunakan uap bertekanan bertujuan menonaktifkan enzim lipase, melunakkan mesokarp, memudahkan perontokan brondolan, dan menyiapkan buah untuk ekstraksi. Tan et al. (2023) menegaskan bahwa pembentukan FFA dapat terjadi pada berbagai titik proses sebelum sterilisasi, terutama ketika buah mengalami kerusakan dan penanganan yang tidak tepat. Oleh karena itu, ketepatan waktu, tekanan, dan stabilitas proses perebusan sangat menentukan efisiensi dan kualitas minyak.

Tilting sterilizer horizontal menjadi salah satu inovasi untuk meningkatkan efisiensi pengisian, pengeluaran, dan pengendalian proses. Akan tetapi, efisiensi teknologi tidak dapat dinilai hanya dari klaim teknis; perlu analisis berbasis data aktual terhadap oil losses, tekanan, lama perebusan, dan mutu fraksi buah yang diolah. Untuk tekanan pada tilting sterilizer sebesar

memiliki 2,8 bar hingga 3,0 bar atau 40 psi sedangkan untuk lama perebusan sekitar 90 menit. Penelitian ini penting untuk menilai apakah variasi fraksi buah dan parameter perebusan di PT AXY hingga hubungan nyata dengan oil losses.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh komposisi fraksi buah terhadap *oil losses* di PT AXY?
2. Bagaimana hubungan antara tekanan, lama perebusan, dan fraksi buah terhadap oil losses?
3. Bagaimana konsistensi pengendalian proses perebusan berdasarkan peta kendali, dan tindakan perbaikan apa yang perlu dilakukan?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh komposisi fraksi buah terhadap *oil losses* di PT AXY.
2. Menganalisis hubungan antara tekanan, lama perebusan, dan fraksi buah terhadap oil losses.
3. Mengevaluasi konsistensi pengendalian proses perebusan menggunakan peta kendali.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai hubungan mutu fraksi buah dan parameter perebusan dengan oil losses pada pengolahan CPO.
2. Memberikan masukan bagi pabrik dalam memperbaiki sistem grading TBS, pengendalian sterilizer, dan pencatatan oil losses berbasis batch.
3. Menjadi referensi bagi penelitian lanjutan mengenai optimasi perebusan, pengendalian proses, dan efisiensi ekstraksi minyak sawit

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Industri Kelapa Sawit di Indonesia

Industri minyak kelapa sawit merupakan sektor unggulan Indonesia dengan kontribusi besar terhadap ekspor nonmigas dan pertumbuhan ekonomi. Ekspor *crude palm oil* (CPO) meningkat rata-rata 12,97% per tahun meskipun ada kebijakan pungutan dan kuota. Minyak sawit yang murah dan serbaguna, digunakan di berbagai industri termasuk pangan, kosmetik, kebersihan, dan biodiesel. Indonesia sebagai produsen utama dunia menghadapi tantangan lingkungan, emisi, serta tata kelola lahan berkelanjutan (Purba et al., 2025).

Indonesia menerapkan sertifikasi keberlanjutan ISPO yang wajib bagi seluruh perusahaan kelapa sawit. Namun, dari 16,38 juta ha perkebunan sawit, baru 35,40% yang bersertifikat. Pemerintah mendorong percepatan sertifikasi, termasuk bagi petani, melalui peraturan menteri pertanian No. 38/2020. Rendahnya kepatuhan terhadap standar *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO) maupun *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) menjadi faktor lemahnya daya saing industri sawit Indonesia di pasar Internasional (Hani et al., 2025).

Commented [SM2]: 2. Jelaskan industri kelapa sawit yang ada di Indonesia

B. Fraksi Buah Sawit atau Grading Buah

Fraksi buah sawit adalah tingkatan kematangan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang diukur berdasarkan perubahan warna kulit buah dan jumlah berondolan (buah sawit kecil) yang lepas dari tandannya secara alami. Sedangkan grading buah (sortasi) adalah proses pemeriksaan, pengujian, dan pengelompokan buah sawit yang baru masuk ke pabrik untuk menentukan

apakah buah tersebut layak diolah atau tidak (Siregar, M. A., & Lubis, A. R. 2020).

Di industri kelapa sawit, tingkat kematangan buah dibagi menjadi 7 fraksi utama (dari Fraksi 00 hingga Fraksi 5). Target utama pabrik adalah mendapatkan Buah Matang (Fraksi 2 dan 3) karena pada fase ini kandungan minyaknya paling maksimal dan kualitasnya paling bagus. Fraksi 00 (Sangat Mentah): Buah berwarna hitam pekat, belum ada berondolan yang lepas. Sama sekali belum memiliki kandungan minyak dan sangat keras. Fraksi 0 (Mentah): Buah berwarna hitam, berondolan yang lepas dari tandan kurang dari 12,5% (hanya sekitar 1–10 berondolan luar). Kandungan minyaknya masih sangat sedikit. Fraksi 1 (Mengkal): Buah mulai berwarna kemerahan tetapi ujungnya masih hitam. Berondolan yang lepas sekitar 12,5% – 25%. Fraksi 2 (Matang I): Buah berwarna merah jingga mengkilap. Berondolan luar yang lepas berkisar antara 25% – 50%. Fraksi 3 (Matang II): Buah berwarna merah jingga sempurna. Berondolan luar yang lepas berkisar antara 50% – 75%. Fraksi 4 (Lewat Matang): Buah berwarna merah tua kusam. Berondolan yang lepas sudah lebih dari 75% bahkan hampir habis. Kandungan minyaknya banyak, tetapi kualitasnya mulai turun karena kadar asam lemak bebasnya (FFA) melonjak naik. Fraksi 5 (Buah Busuk): Berondolan sudah rontok semua, tandannya lembek dan mulai berjamur. Buah ini akan merusak mutu minyak di pabrik (Siregar, M. A., & Lubis, A. R. 2020).

Commented [SM3]: 3. Jelaskan tingkat kematangan buah kelapa sawit yang ada di pabrik kelapa sawit.

C. Pengolahan Tandan Buah Segar

Proses pengolahan TBS di pabrik kelapa sawit bertujuan untuk

mengekstraksi minyak sawit dengan efisien serta menjaga kualitas minyak agar tidak mengalami kerusakan akibat aktivitas enzim lipase.

Secara umum, tahapan pengolahan TBS meliputi: Stasiun penerimaan (*fresh fruit bunch ramp*), stasiun rebusan (*sterilizer station*), stasiun perontokan (*threshing station*), stasiun pengadukan dan pengepresan (*digester dan screw press*), stasiun klarifikasi (*clarification station*), stasiun *kernel* (*kernel recovery station*) dan stasiun *storage tank*.

Commented [SM4]: 4. Jelaskan proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit

1. Stasiun penerimaan buah (*fresh fruit bunch ramp*)

Stasiun penerimaan atau *loading ramp* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, merupakan stasiun awal pengolahan TBS di pabrik kelapa sawit yang berfungsi sebagai tempat penimbunan sementara setelah melalui jembatan timbang, sekaligus lokasi pembongkaran buah dari truk dan pemindahan ke lori perebusan. Pada stasiun ini diterapkan prinsip *first in–first out* agar mutu TBS)

Tandan buah segar yang dipanen dari kebun diangkut ke pabrik dan diturunkan di *loading ramp*. Fungsi utama stasiun ini adalah menampung, mengatur dan mengontrol aliran tandan buah segar sebelum masuk ke tahap perebusan. Pada tahap ini, tandan buah segar biasanya diperiksa kualitasnya (Siregar & Hasibuan, 2024).



Gambar 1. Stasiun penerimaan buah (Dokumentasi Pribadi, 2024)

2. Stasiun rebusan (*sterilizer station*)

Stasiun *sterilizer* merupakan tahap penting dalam proses pengolahan TBS di pabrik kelapa sawit, yaitu proses perebusan menggunakan uap panas bertekanan selama kurang lebih 85–95 menit di dalam bejana *sterilizer*. Proses ini berfungsi untuk menghentikan aktivitas enzim lipase penyebab peningkatan asam lemak bebas (FFA), melunakkan mesokarp sehingga mempermudah ekstraksi minyak, serta memudahkan pelepasan buah dari tandannya sebelum masuk ke stasiun perontokan (*threshing*). Selain itu, perebusan juga mampu membunuh mikroorganisme.

Commented [SM5]: 5. Apa yang dimaksud dengan stasiun perontokan yang ada di pabrik kelapa sawit

yang dapat menurunkan mutu minyak, mengurangi kadar air, dan meningkatkan rendemen minyak sawit. Dengan demikian, stasiun *sterilizer* memiliki manfaat tidak hanya dalam menjaga kualitas *crude palm oil* (CPO), tetapi juga meningkatkan efisiensi proses produksi serta mendukung aspek keselamatan kerja apabila dilaksanakan dengan sistem yang baik (Lumbantoruan & Purba, 2025).

Beberapa *sterilizer* yang umum digunakan pada pabrik kelapa sawit:

a. *Sterilizer konvensional horizontal*

Sterilizer konvensional horizontal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, digunakan di stasiun *sterilizer*. *Sterilizer konvensional horizontal* merupakan teknologi yang paling lama digunakan di industri kelapa sawit. Sistem ini menggunakan lori baja beroda yang berisi 1,5–15 ton TBS, dimasukkan ke dalam bejana *horizontal* dengan pemanasan uap bertekanan (Nasution et al., 2011).



Gambar 2. *Sterilizer konvensional horizontal*
(Dokumentasi Pribadi, 2024)

Sterilizer konvensional *horizontal* merupakan alat rebusan yang paling umum digunakan di pabrik kelapa sawit. Alat ini berbentuk silinder *horizontal* bertekanan, di mana tandan buah segar dimasukkan secara manual menggunakan *hoist crane* dan direbus menggunakan uap bertekanan tinggi selama 90–120 menit (Nasution et al., 2011).

Keunggulan *sterilizer* konvensional *horizontal*:

- 1) Sistem sederhana, handal dan konsisten sehingga mudah dioperasikan..
- 2) Biaya investasi relatif rendah dibanding *sterilizer* modern, karena desainnya sederhana, komponen sedikit, kapasitas besar.
- 3) Perawatan mudah didapat karena suku cadang (lori, pintu, rel) tersedia luas..

Kelemahan *sterilizer* konvensional *horizontal*:

- 1) Proses pengisian dan pengosongan memakan waktu lama karena penggunaan lori manual, kapasitas tabung besar, sistem pintu semimanual, serta ketergantungan pada tenaga kerja dan alat bantu sederhana. Kondisi ini berbeda dengan *tilting sterilizer horizontal* yang sudah menggunakan sistem hidrolik otomatis sehingga lebih cepat dan efisien.
- 2) Konsumsi uap tinggi karena waktu perebusan lama, kapasitas tabung besar, kehilangan panas tinggi, distribusi uap kurang efisien,

serta *loading-unloading* lambat sehingga penggunaan energi menjadi boros dibanding *tilting sterilizer horizontal*.

- 3) Membutuhkan banyak tenaga kerja 8 karena sistem masih manual, pengoperasian lori butuh tenaga fisik, pintu *sterilizer* besar dan berat sehingga memerlukan tenaga kerja sebanyak 8 orang.
- 4) Tidak efisien dalam mengatasi jam kerja dan *downtime* karena sistem *batch* yang memakan waktu, *loading/unloading* manual yang lama, sering terjadi kemacetan lori dan pintu, harus membangun ulang tekanan uap tiap *batch*, tingginya ketergantungan pada tenaga kerja manual.

Fungsi *sterilizer* konvensional *horizontal*

- 1) Menghentikan aktivitas enzim lipase
Enzim lipase dalam buah sawit memicu peningkatan Asam Lemak Beba (ALB/FFA). Perebusan dengan uap bertekanan menghentikan kerja enzim ini sehingga mutu minyak tetap terjaga.
- 2) Melunakkan mesokarp (daging buah)
Panas uap membuat mesokarp menjadi lunak sehingga memudahkan proses pengepresan (*digester & press*) untuk meningkatkan perolehan minyak.
- 3) Mempermudah perontokan brondolan
Tandan yang sudah direbus menjadi lebih longgar sehingga buah (brondolan) lebih mudah terlepas saat proses perontokan (*threshing*)

4) Mempermudah perontokan brondolan

Tandan yang sudah direbus menjadi lebih longgar sehingga buah (brondolan) lebih mudah terlepas saat proses perontokan (*threshing*).

5) Menghentikan aktivitas enzim lipase

Enzim lipase dalam buah sawit memicu peningkatan Asam Lemak Bebas (ALB/FFA). Perebusan dengan uap bertekanan menghentikan kerja enzim ini sehingga mutu minyak tetap terjaga.

6) Melunakkan mesokarp (daging buah)

Panas uap membuat mesokarp menjadi lunak sehingga memudahkan proses pengepresan (*digester & press*) untuk meningkatkan perolehan minyak.

7) Mempermudah perontokan brondolan

Tandan yang sudah direbus menjadi lebih longgar sehingga buah (brondolan) lebih mudah terlepas saat proses perontokan (*threshing*).

b. *Sterilizer vertikal*

Sterilizer vertikal adalah bejana perebusan tandan buah segar (TBS) dengan posisi tegak (vertikal). Sistem ini masih bekerja secara batch, namun sudah dibantu dengan otomatisasi (*conveyor* untuk pengangkutan TBS, pintu hidrolik, dan PLC). Teknologi ini muncul sebagai inovasi setelah model *horizontal*, dengan tujuan meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan efektivitas (Subiyanto, 2012)

Sterilizer vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Sterilizer* vertikal (Dokumentasi Pribadi, 2024)

Keunggulan *sterilizer* vertikal:

- 1) Efisiensi uap tinggi → hanya butuh $\pm 300\text{--}400$ kg/ton TBS, lebih hemat dibanding horizontal ($600\text{--}700$ kg/ton TBS).
- 2) Siklus rebusan lebih pendek, sekitar 90 menit/siklus.
- 3) Pengoperasian lebih mudah, menggunakan *conveyor* dan pintu hidrolik, otomatisasi dengan PLC.
- 4) Kebutuhan lahan kecil, sekitar 500 m^2 (jauh lebih hemat dibanding horizontal $\pm 4000\text{ m}^2$).
- 5) Jumlah operator lebih sedikit, cukup ± 4 orang.
- 6) Keselamatan lebih baik, risiko kecelakaan berkurang (tanpa lori, area lebih bersih).
- 7) Perawatan relatif mudah, hanya penggantian rantai *conveyor*, bisa dilakukan sendiri.
- 8) Nilai keekonomian baik, tingkat pengembalian investasi (IRR) tinggi dan *payback period* relatif singkat.

Kekurangan *sterilizer* vertikal:

- 1) Produk yang dihasilkan kurang maksimal, masih ada kehilangan minyak (*oil losses*) lebih besar dibanding *horizontal*.

- 2) Konsumsi listrik lebih tinggi, sekitar 16–18 kWh/ton TBS, sedikit lebih boros dari *horizontal* (15–17 kWh/ton TBS).
- 3) Investasi alat lebih mahal dibanding *horizontal*.
- 4) Kualitas CPO (ALB) dan *kernel* bisa lebih rendah dibanding *horizontal*.

Fungsi *sterilizer* vertikal:

- 1) Merebus TBS dengan uap bertekanan untuk:
- 2) Memudahkan lepasnya brondolan dari tandan.
- 3) Menghentikan aktivitas enzim penyebab kenaikan FFA (asam lemak bebas).
- 4) Melunakkan buah untuk mempermudah ekstraksi minyak.
- 5) Menurunkan kadar air inti sebagai pengeringan awal.

c. *Tilting sterilizer horizontal*

Tilting sterilizer horizontal merupakan inovasi terbaru dengan posisi *horizontal* yang dapat dimiringkan (*tilting*) untuk memudahkan proses pengisian dan pengeluaran (Alparisi, 2021). Konsumsi uap relatif lebih rendah (sekitar 200–250 kg uap/ton TBS) dengan waktu sterilisasi lebih singkat (45– 50 menit). Sistem otomatisasinya membuat kebutuhan tenaga kerja lebih sedikit (4 orang), serta dapat menekan kehilangan minyak (*oil losses*) sebesar 0,17% dapat ditekan lebih rendah dibandingkan tipe konvensional.

Alat ini bekerja dengan sistem miring (*tilting*) sehingga memudahkan proses pengisian dan pengeluaran bahan. Sistem otomatis akan memindahkan (TBS) ke dalam sterilisator, kemudian

setelah proses selesai, hasilnya berupa *sterilized fresh bunches* (SFB) dipindahkan ke stasiun berikutnya.

Pengisian TBS dilakukan melalui *conveyor* dan selanjutnya dimasukkan ke dalam *tilting sterilizer horizontal* hingga sampai penuh. *Steam* yang digunakan memiliki tekanan 2,8 bar pada temperatur 120130 °C yang berasal dari *back pressure vessel* (BVC). PT AXY mempunyai 5 unit *tilting sterilizer horizontal* yang masing-masing berkapasitas 18 ton dan beroperasi secara bergantian selama proses pengolahan berlangsung. *Tilting sterilizer horizontal* dapat dilihat pada Gambar 4.



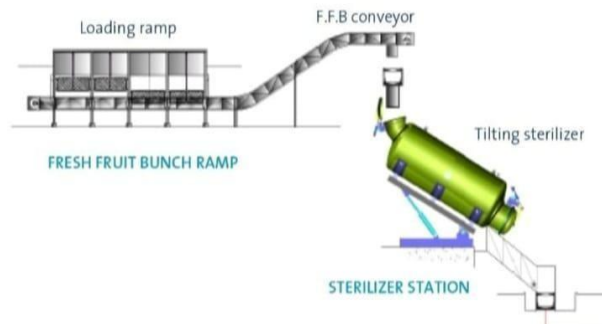
Gambar 4. *Tilting sterilizer horizontal* (Dokumentasi Pribadi, 2024)

Sistem perebusan yang digunakan adalah *double peak system*. Tahapan – tahapan persiapan sterilisasi pada penggunaan *tilting sterilizer horizontal* berdasarkan sistem pengaturan *control double peak system* di pabrik kelapa sawit PT AXY, sebagai berikut:

a. Pemeriksaan awal

- 1) Cek kesiapan TBS (Tandan Buah Segar): pastikan sortasi buah sesuai standar (matang, tidak busuk, tidak terlalu mentah).

- 2) Cek kondisi *tilting sterilizer*: periksa pintu, engsel, silinder hidrolik, dan sistem kemiringan agar bekerja dengan aman.
 - 3) Pemeriksaan katup pengaman (*safety valve*) dan alat pengukur tekanan (*pressure gauge*): pastikan terkalibrasi dengan benar agar tekanan uap tidak melebihi batas (biasanya 2,8 – 3,0 kg/cm²).
- b. Persiapan sistem uap:
- 1) Pemanasan awal (*preheating*): boiler dinaikkan tekanannya hingga mencapai tekanan kerja *sterilizer*.
 - 2) Cek jalur pipa uap & kondensat: pastikan tidak ada kebocoran dan semua katup (*valve*) dapat dibuka-tutup dengan baik.
 - 3) Pastikan *control* panel dalam mode *standby*: agar operator bisa mengatur siklus sterilisasi otomatis maupun semi-otomatis.
- c. Pengisian TBS:
- 1) TBS yang ada di *loading ramp* diangkut menggunakan *conveyor* dimasukkan ke dalam *tilting sterilizer*. Proses pengangkutan TBS dari *loading ramp* ke *tilting sterilizer* menggunakan *conveyor* dapat di lihat pada Gambar 5.



Abdul Aziz (Laporan MT, 2023)

Gambar 5. Proses pengangkutan TBS dari loading ramp ke *tilting sterilizer horizontal* dengan menggunakan *conveyor*.

d. *Setting* sistem kontrol:

- 1) Program sterilisasi diatur melalui control system (PLC/Panel).

Parameter yang diatur meliputi:

- 2) Tekanan uap masuk ($2,8 - 3,0 \text{ kg/cm}^2$).
- 3) Suhu sterilisasi ($130 - 140 \text{ }^\circ\text{C}$).
- 4) Waktu perebusan (± 60 menit, tergantung metode *single peak/double peak/triple peak*).
- 2) Monitoring otomatis: suhu, tekanan, dan waktu terekam pada panel *steam control*. Panel *steam control* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Panel *steam control*

Interlock system: mencegah pintu terbuka saat masih bertekanan.

e. Proses sterilisasi

- 1) Setelah parameter diseting, sistem *control* mengatur:
- 2) *Filling steam*, uap dimasukkan sampai tekanan target tercapai.
- 3) *Holding period*, tekanan dan suhu dipertahankan sesuai waktu yang diprogram.
- 4) *Exhausting*, pembuangan uap dan kondensat otomatis sebelum *unloading*.

f. Persiapan Pengosongan

- 1) Setelah siklus selesai, *tilting sterilizer* akan miring (*tilting*) sesuai perintah dari *control system*, untuk menuang/mengeluarkan TBS yang sudah selesai direbus. *Sterilizer* kembali ke posisi normal untuk menunggu siklus berikutnya.

Penggunaan *tilting sterilizer horizontal* dengan *double peak system* memberikan beberapa keunggulan, kekurangan dan memiliki

fungsi dibandingkan metode perebusan konvensional, yaitu:

a. Keunggulan *tilting sterilizer horizontal*:

1) Pengisian dan pengosongan otomatis (dengan *system hidrolis*)

Berfungsi untuk memiringkan tabung *sterilizer* saat pengisian tandan buah segar masuk dan pengosongan tandan buah sawit keluar sehingga proses bisa berjalan otomatis, cepat dan aman.

2) Waktu perebusan lebih cepat hanya 60 menit

Proses perebusan dengan dua puncak tekanan memungkinkan penggunaan energi uap yang lebih efektif, karena perebusan bertahap memaksimalkan transfer panas ke dalam tandan buah sehingga *tilting sterilizer* mampu memberikan efisiensi energi, waktu dan tenaga kerja.

3) Konsumsi bahan bakar lebih rendah

Konsumsi bahan bakar lebih rendah karena waktu perebusan singkat, volume tabung yang lebih kecil, serta minim kehilangan panas akibat proses otomatis. Hal ini membuat biaya operasional pabrik lebih hemat dibanding menggunakan konvensional.

4) Mengurangi risiko *oil losses* dan meningkatkan rendemen

Karena *tilting sterilizer* mampu mengurangi *oil losses* dengan cara perebusan merata, cepat dan minim kehilangan minyak pada kondensat. Teknologi ini juga meningkatkan rendemen karena buah lebih matang sempurna, minyak lebih mudah diekstraksi dan kualitas CPO lebih terjaga.

5) Kualitas buah lebih baik

Adanya tahap *holding time* yang cukup memastikan bahwa buah matang secara merata, sehingga memudahkan proses pemisahan brondolan dari tandan pada stasiun *thresher*. Hal ini berpengaruh terhadap rendemen minyak yang lebih optimal.

6) Peningkatan keselamatan dan otomasi proses

Penggunaan sistem kontrol hidrolik dan *autofeeder* membantu mengurangi keterlibatan langsung tenaga kerja, sehingga menurunkan risiko kecelakaan kerja.

7) Efisiensi distribusi

Setelah perebusan, TBS dapat langsung didorong ke *hopper* dengan bantuan *autofeeder*, sehingga alur produksi menjadi lebih kontinu tanpa hambatan.

b. Kelemahan *tilting sterilizer horizontal*:

1) Investasi awal tinggi, karena biaya pengadaan dan instalasi

tilting sterilizer horizontal lebih mahal dibandingkan dengan *sterilizer konvensional horizontal*.

2) Risiko kerusakan mekanis, karena bagian engsel, silinder

hidrolik, dan sistem penggerak rawan aus atau rusak jika tidak dirawat dengan baik, yang bisa mengakibatkan *downtime* produksi.

3) Pengoperasian butuh keterampilan, operator harus memiliki

pengetahuan dan keterampilan lebih dibandingkan *sterilizer*

konvensional, karena ada sistem kontrol tambahan untuk mengatur kemiringan dan pembuangan tandan kosong.

- 4) Biaya suku cadang, komponen khusus seperti hidrolik, *bearing*, dan sistem *tilting* biasanya lebih mahal serta tidak selalu tersedia dengan cepat.

c. Fungsi utama rebusan di *tilting sterilizer horizontal* adalah untuk:

- 1) Menonaktifkan enzim lipase dan oksidase yang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas (FFA).
- 2) Mengurangi kadar air pada berondolan melunakkan berondolan untuk memudahkan pelepasan/pemisahan daging buah dari nut di *digester*.
- 3) Melunakkan *mesocarp* agar mudah dipisahkan dari biji saat proses pengempaan.
- 4) Mempermudah pelepasan brondolan dari tandan karena perebusan mempercepat hidrolisis polisakarida perekat.
- 5) Membantu pelepasan inti dari cangkang, dengan menurunkan kadar air sehingga elastisitas cangkang berkurang dan nut mudah dipecahkan.

d. *Sterilizer* kontinyu

Sterilizer kontinyu adalah teknologi perebusan tandan buah segar (TBS) yang bekerja secara terus-menerus (*continuous system*), berbeda dengan *sterilizer horizontal* dan vertikal yang bekerja secara *batch*. Sistem ini diintroduksi dari Malaysia dan

menggunakan *conveyor* untuk membawa TBS melewati bejana perebusan yang beroperasi dengan tekanan rendah (sekitar 1 bar) (Subiyanto, 2012). *Sterilizer* kontinyu dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. *Sterilizer* kontinyu (Dokumentasi Pribadi, 2024)

Keunggulan *sterilizer* kontinyu:

- 1) *Kontinuitas* proses, tidak perlu menunggu pengisian dan pengosongan seperti pada sistem *batch*, sehingga aliran produksi lebih lancar.
- 2) Otomatisasi tinggi, hampir seluruh proses menggunakan sistem otomatis, sehingga lebih efisien dalam tenaga kerja (cukup 1 orang pengawas).
- 3) Keamanan lebih baik, bekerja pada tekanan rendah/atmosfer sehingga risiko ledakan lebih kecil.
- 4) Dampak lingkungan lebih rendah emisi, kebisingan, dan potensi kecelakaan relatif lebih kecil.
- 5) Kekinian teknologi, dianggap modern karena sesuai dengan tren otomasi industri.

Kekurangan *sterilizer* kontinyu:

- 1) Efisiensi energi rendah – konsumsi uap masih tinggi (540–560 kg/ton TBS), lebih boros dibanding *sterilizer* vertikal (300–400 kg/ton TBS).
- 2) Nilai investasi tinggi, biaya pengadaan alat dan instalasi lebih mahal.
- 3) Perawatan sulit dan mahal, penggantian rantai *conveyor* membutuhkan material impor dan teknisi khusus.
- 4) Produk kurang optimal, kehilangan minyak dalam tandan kosong dan air kondensat lebih tinggi, sehingga rendemen CPO tidak sebaik sistem vertikal.
- 5) Tingkat pengembalian investasi rendah, *payback period* lebih lama dan IRR lebih kecil dibanding *sterilizer* vertikal maupun horisontal.

Fungsi *sterilizer* kontinyu

- 1) Menghentikan aktivitas enzim lipase

Lipase yang terdapat pada buah sawit dapat memicu peningkatan Asam Lemak Bebas (ALB/FFA). Dengan sterilisasi cepat dan merata, aktivitas enzim dapat dihentikan sehingga kualitas CPO (*Crude Palm Oil*) lebih baik.
- 2) Melunakkan daging buah (*mesokarp*)

Tujuannya agar daging buah mudah terlepas dari biji pada proses pengepresan, sehingga rendemen minyak meningkat.
- 3) Memudahkan perontokan brondolan dari tandan

Dengan uap bertekanan, struktur tandan melonggar sehingga buah lebih mudah lepas saat proses *threshing*.

- 4) Mengurangi kadar air dan mempermudah pengupasan biji (*kernel*) Proses sterilisasi membantu memecah serat pada *endokarp* sehingga *kernel* lebih mudah dipisahkan.

- 5) Efisiensi operasional

Karena sistemnya kontinyu, proses tidak lagi batch (bongkar-muat), sehingga mengurangi waktu siklus, menekan kehilangan minyak (*oil losses*), dan menurunkan biaya operasional.

- 6) Meningkatkan keselamatan kerja dan lingkungan

Proses lebih terkontrol, tidak menimbulkan lonjakan tekanan besar seperti pada *sterilizer* konvensional, serta lebih ramah lingkungan karena uap digunakan lebih efisien.

3. Stasiun perontokan (*threshing station*)

Stasiun perontokan (*threshing station*) merupakan bagian penting dalam pabrik kelapa sawit yang berfungsi untuk memisahkan berondolan buah dari tandan kosong setelah proses perebusan di *sterilizer*. Tahap ini krusial karena kualitas pemisahan akan memengaruhi rendemen minyak serta efisiensi pengolahan di stasiun berikutnya, seperti *digester* dan *pressing*. Peralatan utama yang digunakan antara lain *thresher drum*, *bunch elevator*, *under-thresher conveyor*, *bottom cross conveyor*, serta *thresher conveyor* yang berperan dalam menjaga kelancaran aliran material dan

meminimalkan kehilangan berondolan. Tata letak serta pengaturan operasi pada stasiun ini harus diperhatikan secara optimal untuk menekan *oil losses* dan mencegah kerusakan mekanis buah. Selain itu, aspek pemeliharaan (*maintenance*) juga sangat berpengaruh, di mana penerapan *maintenance* dan strategi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diperlukan untuk menjaga kinerja peralatan, mengurangi *downtime*, dan mempertahankan produktivitas pabrik (Prabowo & Ihsan, 2023).

4. Stasiun pengadukan dan pengepresan (*digester* dan *screw press*)

Stasiun pengadukan dan pengepresan merupakan salah satu unit penting dalam proses pengolahan kelapa sawit yang terdiri atas *digester* dan *screw press*. Mesin *digester* berfungsi untuk melumat dan mengaduk berondolan buah sawit hingga homogen, sedangkan *screw press* berperan dalam mengekstraksi minyak melalui proses pengepresan sehingga dihasilkan *crude oil* dan *press cake*. Kinerja kedua mesin ini sangat menentukan keberhasilan produksi, di mana standar mutu ditunjukkan dengan nilai *oil losses* 8% dan broken nut 10%. Beberapa komponen yang tergolong kritis meliputi *stirring arm* pada *digester* serta *main shaft spur gear wheel* dan *worm screw press* pada *screw press*, karena tingkat kegagalannya relatif tinggi. Oleh sebab itu, penerapan strategi perawatan menjadi sangat penting, dengan rekomendasi interval 650 jam operasi untuk *digester* dan 210 jam untuk *screw press* agar keandalan sistem tetap terjaga serta produktivitas pabrik dapat dipertahankan (Darma et al., 2020).

Commented [SM6]: 6.Jelaskan proses dari stasiun pengepresan yang ada di pabrik kelapa sawit

5. Stasiun klarifikasi (*clarification station*)

Stasiun klarifikasi merupakan bagian penting dalam proses produksi minyak sawit yang berfungsi untuk memurnikan minyak kasar (*crude oil*) dari stasiun pengepresan dengan cara memisahkan kotoran, lumpur, dan air sebelum minyak disimpan pada tangki penyimpanan. Keandalan mesin di stasiun ini sangat berpengaruh terhadap mutu CPO dan kelancaran produksi, sehingga perawatan mesin, khususnya komponen yang rawan rusak, menjadi hal yang sangat penting. Berdasarkan penelitian dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) di PKS Langling, ditemukan bahwa komponen paling kritis adalah *packing body* pompa *crude oil* dan *mechanical seal* pompa *condensate*, masing-masing dengan nilai RPN 105. Oleh karena itu, tindakan perawatan yang direkomendasikan adalah penggantian berkala, yaitu setiap 1.657 jam (± 5 bulan) untuk *packing body* dan setiap 1.037 jam (± 3 bulan) untuk *mechanical seal*, agar proses klarifikasi tetap berjalan optimal dan kerusakan dapat diminimalkan (Darma et al., 2021).

Commented [SM7]: Jelaskan proses yang ada di stasiun pemurnian kelapa sawit

6. Stasiun *kernel* (*kernel recovery station*)

Stasiun *kernel* merupakan bagian penting dalam pabrik kelapa sawit yang berfungsi mengolah biji (*nut*) hasil sampingan pengepresan tandan buah segar menjadi inti sawit (*kernel*) berkualitas melalui pemisahan serabut dan biji, salah satunya menggunakan *ripple mill*. Namun, gangguan produksi sering terjadi akibat kerusakan mesin, terutama *ripple mill*, sehingga menurunkan efektivitas dan menyebabkan kerugian. Untuk

mengatasinya, diperlukan penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) dengan pendekatan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) guna menjaga kinerja mesin tetap optimal. Secara keseluruhan, stasiun *kernel* memiliki peran vital dalam meningkatkan efisiensi pabrik karena *kernel*, selain CPO, juga bernilai ekonomis tinggi (Hairiyah et al., 2014).

Tujuan stasiun *kernel*:

- a. Memisahkan biji (*nut*) dari serabut (*fiber*) hasil ampas pengepresan.
- b. Menghasilkan inti sawit (*kernel*) dengan kualitas bersih dan kerugian seminimal mungkin.
- c. Mendukung peningkatan rendemen pabrik kelapa sawit.
- d. Mengoptimalkan pemanfaatan hasil sampingan pengolahan TBS.
- e. Menyediakan bahan baku *kernel* untuk industri turunan (seperti minyak inti sawit dan bungkil inti sawit).

Fungsi stasiun *kernel*:

- a. Pemisahan serabut dan biji menggunakan alat *claybath*.
- b. Pemecahan biji (*nut cracking*) menggunakan mesin *ripple mill*.
- c. Pemisahan inti dan cangkang setelah proses pemecahan, biasanya dengan metode pemisahan berat jenis (air/angin).
- d. Pengeringan *kernel* untuk menurunkan kadar air agar inti tidak cepat rusak atau berjamur.
- e. Penyimpanan *kernel* sebelum dipasarkan atau diolah lebih lanjut.

Manfaat stasiun *kernel*:

- a. Ekonomi meningkatkan pendapatan perusahaan melalui produk turunan *kernel* yang bernilai jual tinggi.
- b. Efisiensi—mengurangi kerugian produksi akibat kehilangan inti sawit pada limbah.
- c. Keberlanjutan—memaksimalkan pemanfaatan seluruh bagian tandan buah segar, sehingga tidak ada hasil samping yang terbuang.
- d. Industri hilir—menyediakan bahan baku untuk minyak inti sawit (PKO), bungkil inti sawit (pakan ternak), dan produk lainnya.
- e. Daya saing perusahaan—meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil olahan sehingga dapat bersaing di pasar internasional.

7. Stasiun *storage tank*

Stasiun *storage tank* atau tangki penyimpanan merupakan salah satu unit penting dalam pabrik kelapa sawit (PKS) karena berfungsi sebagai tempat penyimpanan CPO sebelum di distribusikan atau dipasarkan. *Storage tank* berperan menjaga kualitas CPO dari kontaminan, air, dan kotoran yang dapat menurunkan mutu minyak sawit. Kualitas CPO ditentukan oleh kadar FFA, kadar air dan kadar kotoran sehingga penyimpanan yang baik sangat diperlukan agar parameter mutu tetap sesuai standar perusahaan (Sari, 2026).

D. Parameter Keberhasilan Sterilisasi

Penerapan *tilting sterilizer horizontal* di pabrik kelapa sawit PT AXY

menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan *sterilizer* konvensional. Beberapa parameter keberhasilan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tekanan dan suhu uap (*steam*)

Pada *tilting sterilizer horizontal*, tekanan kerja rata-rata tercatat sebesar 2,82 bar dengan suhu 120–130°C, lebih rendah dibandingkan *sterilizer* konvensional *horizontal* yang mencapai 3,20 bar. Tekanan uap yang lebih rendah menandakan efisiensi penggunaan energi karena distribusi panas lebih merata melalui sistem *double peak* (Subiyanto, 2012).

2. Waktu perebusan

Tilting sterilizer horizontal membutuhkan waktu perebusan 60 menit, sedangkan konvensional mencapai 90–120 menit. Pemangkasan waktu ini tidak hanya mempercepat siklus produksi, tetapi juga menurunkan konsumsi bahan bakar boiler, sehingga berdampak langsung pada penghematan biaya operasional.

3. Asam lemak bebas (ALB)

Asam lemak bebas (ALB) adalah asam yang dibebaskan pada hidrolisa lemak. Kadar asam lemak bebas dalam minyak kelapa sawit, biasanya hanya dibawah 1%. Pengaruh kadar asam lemak bebas yang tinggi terhadap mutu produksi minyak akan dapat menimbulkan ketengikan pada minyak dan meningkatnya kadar kolesterol dalam minyak (Maimun et al., 2017).

4. Rendemen

Berdasarkan kajian literatur, proses sterilisasi merupakan tahapan penting dalam pengolahan TBS menjadi CPO karena berfungsi menghentikan aktivitas enzim lipase, mempermudah pelepasan brondolan, melunakkan daging buah, serta menurunkan kadar air sehingga meningkatkan rendemen minyak (Masruroh & Mardesci, 2021)

Sterilizer konvensional horizontal yang umumnya berbentuk *horizontal* dengan sistem lori menggunakan metode perebusan *double peak* atau *triple peak* pada tekanan 2,5–3 bar, suhu 140–145°C, dan waktu 90–120 menit, membutuhkan konsumsi uap tinggi sekitar 272–400 kg/ton tandan buah segar (TBS) dan berpotensi meningkatkan *oil losses* di air kondensat akibat lamanya perebusan (Rico et al., 2025).

Sebaliknya, *tilting sterilizer horizontal* dengan sistem bejana miring tanpa lori mampu melakukan sterilisasi lebih singkat yaitu 45–50 menit dengan konsumsi uap lebih hemat hanya sekitar 200 kg/ton TBS, serta menghasilkan pemanasan yang lebih merata sehingga aktivitas enzim lipase cepat terhenti, *oil losses* lebih rendah, dan kualitas CPO lebih baik dengan kadar asam lemak bebas (FFA) lebih rendah (Rico et al., 2025). Dengan demikian, dari sisi proses rendemen, *tilting sterilizer horizontal* terbukti lebih unggul dibandingkan *sterilizer konvensional horizontal* karena mampu meningkatkan efisiensi energi, menekan kehilangan minyak, dan menjaga mutu minyak sawit mentah yang dihasilkan.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat Minyak CPO}}{\text{Berat TBS yang di Olah}} \times 100 \%$$

5. *Oil losses*

Oil losses adalah kehilangan minyak yang seharusnya dapat diperoleh dari proses pengolahan kelapa sawit, umumnya terbuang bersama *fibre* ke *boiler*. Besarnya *oil losses* dapat diuji menggunakan metode ekstraksi soklet, yaitu teknik pemisahan senyawa dari bahan padat menggunakan pelarut yang dapat digunakan berulang. Metode ini efektif menghemat pelarut dan menjaga senyawa agar tidak rusak akibat panas, sehingga hasil pengukuran *oil losses* lebih akurat (Nurrahman et al., 2021).

Adapun beberapa titik dimana *oil losses* terjadi yaitu pada proses perebusan air kondensat rebusan, minyak yang terlepas dari buah akibat tekanan uap panas dan ikut mengalir keluar bersama air pengembunan di stasiun sterilizer. Janjangan kosong (*Empty Fruit Bunch / EFB*) minyak yang tertinggal atau terserap kembali oleh serat janjangan kosong di stasiun bantingan (*threshing*). Ampas kempa (*Press Cake / Fibre*) Minyak yang gagal terperas dan masih melekat pada serat-serat mesokarp setelah keluar dari mesin kempa (*screw press*). Biji (*Nut / Sludge Wet Kernel*) Minyak yang menempel pada permukaan cangkang biji sawit akibat proses pengempaan yang kurang sempurna.

E. Analisis Mutu Menggunakan Peta kendali

Peta kendali adalah alat dalam pengendalian mutu yang digunakan untuk memantau apakah suatu proses produksi atau layanan berada dalam kondisi terkendali secara statistik. Dengan peta kendali, perusahaan dapat membedakan variasi yang masih normal

(penyebab umum) dari variasi yang disebabkan oleh faktor tertentu yang perlu diperbaiki (penyebab khusus). Kapabilitas proses merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik suatu proses dapat memenuhi standar yang ditetapkan, tujuan analisis ini untuk mengukur sejauh mana hasil dari *oil losses* dalam batas toleransi PT AXY (Siregar, M. A., & Lubis, A. R. 2020).

Rumus Peta *Individual*

- o Rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = Rata-rata jumlah data

$\sum x_i$ = Jumlah seluruh data

n = Banyaknya data

- o Center line (CL)

$$CL = \bar{x}$$

- o UCL dan LCL Peta Kendali *Individual*

$$UCL = \bar{x} + \left(3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \right)$$

$$LCL = \bar{x} - \left(3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \right)$$

Keterangan:

d_2 = Koefisien

Rumus Peta *Moving Range*

- o *Moving range* (MR)

$$MR = |x_i - x_{i-1}|$$

Keterangan:

x_i = Nilai sampel ke-i

x_{i-1} = Nilai sampel sebelum sampai ke-i

- o Rata rata *Moving Range* ($\overline{MR}$)

$$\overline{MR} = \frac{\sum MR}{n}$$

Keterangan:

$\sum MR$ = *Moving Range*

n = Banyaknya data

o $CL = \overline{MR}$

o UCL dan LCL Peta Kendali *Moving Range*

$UCL = D_4 \overline{MR}$

$LCL = D_3 \overline{MR}$

Keterangan:

D_4 dan D_3 = Koefisien

F. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi dasar referensi dalam penelitian ini.

Beberapa penelitian yang relevan terkait penggunaan *sterilizer* pada pengolahan kelapa sawit. Beberapa penelitian sebelumnya yang disajikan dalam Tabel 1 dibawah ini akan menjadi referensi dalam penelitian ini.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No.	Jurnal	Judul	Hasil
1.	Alparisi, 2021	Kajian <i>Oil Losses</i> Pada Stasiun <i>Tilting Sterilizer</i> Dalam Pengolahan Tandapan Buah Segar (TBS) Menjadi <i>Crude Palm Oil</i>	<i>Tilting sterilizer horizontal</i> lebih efisien, konsumsi uap 200–250 kg/ton TBS, waktu perebusan 60 menit, asam lemak bebas (FFA) lebih rendah (2,47%), rendemen lebih tinggi (23,26%), dan <i>oil losses</i> lebih rendah (0,40%) dibanding <i>sterilizer konvensional horizontal</i> .

2.	(Masrurah & Mardesci, 2021)	Proses Perebusan Kelapa Sawit Pada Stasiun <i>Sterilizer</i> (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau)	Sterilisasi berperan penting dalam menghentikan enzim lipase, melunakkan buah, mempermudah pelepasan brondolan, serta meningkatkan rendemen minyak sawit.
3.	(Nasution et al., 2011)	Komparasi <i>sterilizer</i> Konvensional Dan Modern	Tujuan penelitian ini adalah menjelaskan karakteristik <i>sterilizer</i> konvensional dan modern serta efektivitasnya dalam meningkatkan mutu hasil dan kapasitas olah pabrik.
4.	Palaniandy et al., 2020	<i>Potential of Steam Recovery from Excess Steam in Sterilizer at Palm Oil Mill</i>	Teknologi pemanfaatan kembali uap bertekanan rendah mampu menghemat energi hingga 20%, menurunkan biaya operasional pabrik kelapa sawit.
5.	(Saukani et al., 2025)	Analisa kehilangan minyak (oil losses) pada proses produksi di pabrik kelapa sawit	Fraksi buah dapat berpengaruh terhadap kehilangan minyak dalam produksi minyak kelapa sawit.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PT AXY yang berada di Kecamatan Kota Pinang Kabupaten Labuhan Batu Selatan, Provinsi Sumatera Utara. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama bulan Agustus 2024 sampai dengan bulan September 2024.

B. Alat dan Bahan

1. Ala

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: *tilting Sterilizer*, *foss Nirs*, *Software SPSS*, *Microsoft Excel*, peta kendali.

1. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: tandan buah segar, minyak sawit mentah (CPO), air uap (*steam*), data *oil losses*, kertas data/laporan produksi.

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa metode:

1. Observasi langsung untuk memperoleh data primer dilakukan pada proses grading dan sterilisasi TBS di stasiun rebusan dengan menggunakan *tilting sterilizer*. Observasi ini mencakup pencatatan tekanan, waktu perebusan, *oil losses*.
2. Wawancara terstruktur dengan dengan manajer operasional, kepala teknik, supervisor stasiun rebusan, serta bagian *maintenance*.
3. Penerimaan data sekunder melalui data yang sudah tersedia di PT AXY

tahun 2017-2018 tentang: tekanan uap (*steam*), rendemen dan *oil losses*.

4. Dokumentasi dilakukan untuk pengumpulan data sekunder berupa laporan produksi pabrik.
5. Studi pustaka dilakukan untuk memperkuat dasar teori, dengan jurnal, penelitian terdahulu, serta literatur terkait teknologi *sterilizer* dan analisis ekonomi pabrik kelapa sawit.

D. Pengolahan Data

1. Check sheet

Check sheet adalah instrumen yang digunakan dalam metode penelitian untuk mengumpulkan dan mengorganisir data secara sistematis. Umumnya, *check sheet* disajikan dalam bentuk tabel yang yang digunakan untuk mencatat informasi terkait terjadinya suatu kejadian atau kegiatan tertentu sepanjang periode waktu yang ditentukan. Dalam penelitian yang berlangsung selama tiga bulan, *check sheet* dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti pencatatan data, identifikasi, pemantauan, dan evaluasi.

2. Peta kendali

Peta kendali (*control chart*) adalah alat yang berbentuk grafik yang digunakan untuk memantau dan mengevaluasi kinerja suatu proses, guna memastikan apakah proses tersebut berada dalam kendali statistik. Peta kendali berfungsi untuk mengidentifikasi penyimpangan dan variasi yang tidak diinginkan dalam proses, sehingga memungkinkan pengambilan tindakan korektif yang diperlukan untuk meningkatkan kualitas, proses tersebut berada dalam kendali statistik. Kapabiliitas proses merupakan

metode yang digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik suatu proses dapat memenuhi standar yang ditetapkan, tujuan analisis ini untuk mengukur sejauh mana hasil dari *oil losses* dalam batas toleransi PT AXY.

Secara umum, berikut adalah tahapan dan langkah-langkah sistematis dalam membuat peta kendali:

1. Menentukan Karakteristik Kualitas yang Akan Diukur

Langkah awal adalah menentukan apa yang ingin dipantau. Karakteristik ini dibagi menjadi dua jenis data:

- Data Variabel : Data yang diperoleh dari hasil pengukuran numerik yang memiliki satuan (seperti berat TBS sawit, panjang, suhu, kadar FFA/ALB). Peta kendali yang digunakan biasanya adalah Peta $\bar{X}$ dan R (Rata-rata dan *Range*) atau Peta $\bar{X}$ dan S (Rata-rata dan Standar Deviasi).
- Data Atribut : Data yang diperoleh dari hasil perhitungan kualitatif (seperti jumlah buah sawit mentah, jumlah produk cacat, persentase kegagalan). Peta kendali yang digunakan adalah Peta p , np , c , atau u .

2. Mengumpulkan Data

Lakukan pengumpulan data secara berkala (subgrup).

- Tentukan ukuran sampel (*sample size*, dinotasikan sebagai n) dan jumlah subgrup (minimal 20–25 subgrup agar hasilnya akurat).
- Pastikan pengambilan sampel dilakukan secara acak dan dalam kondisi proses yang berjalan normal.

3. Menghitung Nilai Statistik Setiap Subgrup

Hitung nilai rata-rata dan variabilitas dari masing-masing subgrup yang telah dikumpulkan.

- Untuk data variabel, hitung rata-rata setiap subgrup ($\bar{X}$) dan rentangnya ($R = \text{Nilai Maksimum} - \text{Nilai Minimum}$).
- Untuk data atribut (misal peta p), hitung proporsi cacat pada setiap sampel ($p = \frac{\text{Jumlah cacat}}{\text{Jumlah sampel}}$).

4. Menghitung Garis Pusat (Center Line / CL)

Garis pusat merupakan nilai rata-rata dari seluruh data yang dikumpulkan, yang mencerminkan kinerja proses saat ini.

- Garis Pusat Rata-rata ($\bar{\bar{X}}$): Rata-rata dari seluruh rata-rata subgrup.
- Garis Pusat Rentang ($\bar{R}$): Rata-rata dari seluruh rentang subgrup.

5. Menghitung Batas Kendali (Control Limits)

Batas kendali berfungsi sebagai rambu-rambu untuk melihat penyimpangan proses. Batas ini terdiri dari Batas Kendali Atas (*Upper Control Limit* / UCL) dan Batas Kendali Bawah (*Lower Control Limit* / LCL). Biasanya menggunakan standar 3σ (tiga sigma).

Catatan Rumus (Contoh Peta $\bar{X}$ dan R):

- $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$
- $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$

(Nilai A_2 adalah faktor konstanta statistik yang didapat dari tabel

kendali berdasarkan ukuran sampel n).

6. Memplot Data ke dalam Grafik Peta Kendali

Buat grafik dengan ketentuan:

- Sumbu X (Horizontal) menyatakan urutan waktu atau nomor subgrup.
- Sumbu Y (Vertikal) menyatakan nilai karakteristik kualitas yang diukur.
- Gambar 3 garis horizontal: Garis Pusat (CL) berupa garis lurus tegas, sedangkan UCL dan LCL berupa garis putus-putus.
- Plot titik-titik nilai statistik subgrup (misalnya nilai $\bar{X}$ tiap subgrup) dan hubungkan dengan garis.

7. Melakukan Analisis dan Interpretasi Peta Kendali

Evaluasi titik-titik yang sudah diplot untuk melihat apakah proses berada dalam kendali statistik (*in-control*) atau di luar kendali (*out-of-control*). Proses dinyatakan keluar dari kendali jika:

- Terdapat titik yang berada di luar batas UCL atau LCL.
- Terdapat pola tidak alami (seperti 8 titik berturut-turut berada di satu sisi garis pusat, atau tren naik/turun secara konstan).

8. Tindakan Koreksi dan Pembaruan Peta Kendali

Jika ditemukan titik yang berada di luar batas akibat kesalahan fatal yang diketahui penyebabnya (*assignable causes*), hapus data tersebut dan hitung ulang nilai CL, UCL, serta LCL yang baru. Peta kendali yang sudah bersih ini siap digunakan untuk memantau proses produksi selanjutnya

secara *real-time*.

3. Analisis Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif adalah metode untuk meringkas dan menyajikan data mentah agar lebih mudah dipahami. Metode ini berfokus pada penggambaran karakteristik data itu sendiri tanpa menarik kesimpulan atau generalisasi yang lebih luas. Adapun fungsi analisis statistik deskriptif adalah mengubah kumpulan data mentah yang rumit menjadi ringkasan informasi yang mudah dipahami.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Statistik Deskriptif

Adapun untuk hasil analisis statistik deskriptif dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Statistik Deskriptif Fraksi Buah Di PT AXY

Variabel	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Oil losses (%)	85	0,42	0,99	0,6794	0,08767
Tekanan	85	2,41	3,08	2,7828	0,14221
Lama perebusan	85	75	97	84,93	4,652
Buah Matang (%)	85	55,50	80,49	68,4952	4,97083
Buah setengah Matang (%)	85	4,96	39,80	21,2401	8,39376
Buah Mentah (%)	83	0,01	15,56	3,8835	4,48397
Buah Lewat Matang (%)	85	1,58	19,54	6,3666	4,11013
Valid N (listwise)	83				

Berdasarkan hasil statistik deskriptif, data penelitian menunjukkan bahwa proses pengolahan relatif stabil, terutama pada variabel tekanan dan lama perebusan yang memiliki penyebaran data kecil. Rata-rata oil losses sebesar 0,6794 menunjukkan tingkat kehilangan minyak yang cukup rendah. Selain itu, persentase buah matang memiliki nilai rata-rata paling tinggi (68,54) dibandingkan kategori lainnya, sehingga kualitas bahan baku tergolong cukup baik. Namun, variasi pada buah setengah matang (21,24) dan buah mentah (3,89) masih cukup besar sehingga dapat mempengaruhi hasil pengolahan dan nilai oil losses.

Tingkat kematangan buah sawit memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap rendemen dan kadar Asam Lemak Bebas (ALB) yang dihasilkan.

Pada buah mentah dan setengah matang, rendemen minyak yang diperoleh sangat rendah karena proses pembentukan minyak di dalam daging buah belum selesai sempurna. Meskipun kadar ALB-nya cenderung sangat rendah karena enzim lipase belum aktif, tekstur buah yang keras menyulitkan proses perebusan dan pelumatan, sehingga memicu banyaknya minyak yang terbuang pada ampas sisa pengolahan. Sebaliknya, buah lewat matang secara teoritis memiliki kandungan minyak maksimal yang berpotensi menghasilkan rendemen tinggi. Namun, dalam praktiknya, rendemen ini rentan menyusut akibat berondolan rontok yang sering tercecer, tertinggal di lapangan, atau membusuk. Selain itu, kondisi lewat matang ini menyebabkan kadar ALB melonjak sangat tinggi dan merusak mutu CPO secara drastis hingga melebihi batas standar 5%, karena luka akibat buah yang rontok mengaktifkan enzim lipase yang merombak minyak menjadi asam lemak bebas.

B. Hasil Korelasi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil analisis korelasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai koefisien korelasi yang menunjukkan adanya hubungan antara variabel yang diteliti. Koefisien korelasi digunakan untuk mengetahui sejauh mana keeratan hubungan antara dua variabel, serta arah hubungan tersebut, apakah bersifat positif atau negatif.

Adapun untuk hasil uji korelasi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Korelasi Fraksi Buah Terhadap *Oil Losses*

Oil losses			Lama perebusan	Buah Matang	Buah setengah Matang	Buah Mentah	Buah Lewat Matang
Oil losses	Pearson Correlation	1	-0,095	-0,094	0,072	-0,157	0,114
	Sig. (2-tailed)		0,389	0,391	0,515	0,156	0,299
	N	85	85	85	85	83	85
Tekanan	Pearson Correlation	0,123	-0,169	0,042	-0,211	0,185	0,182
	Sig. (2-tailed)	0,261	0,123	0,704	0,052	0,094	0,095
	N	85	85	85	85	83	85
Lama Perebusan	Pearson Correlation	-0,095	1	-0,096	0,009	0,032	0,055
	Sig. (2-tailed)	0,389		0,382	0,937	0,776	0,615
	N	85	85	85	85	83	85

Apabila nilai koefisien korelasi bernilai positif, maka hal ini menunjukkan bahwa kedua variabel memiliki hubungan yang searah, artinya ketika satu variabel meningkat, variabel lainnya juga cenderung meningkat. Sebaliknya, jika nilai koefisien korelasi bernilai negatif, maka hubungan yang terjadi adalah berlawanan arah, di mana peningkatan pada satu variabel diikuti dengan penurunan pada variabel lainnya.

Berdasarkan hasil uji korelasi diatas sebagian besar variabel memiliki hubungan yang lemah terhadap oil losses karena nilai korelasinya mendekati 0 dan nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Namun, terdapat hubungan yang signifikan antara fraksi buah setengah matang terhadap tekanan. Hal ini menunjukkan fraksi buah setengah matang berpengaruh terhadap tekanan perebusan. Buah mentah atau buah setengah matang memerlukan tekanan dan lama perebusan yang lebih tinggi atau lebih lama.

C. Analisis Regresi Linear Berganda

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh beberapa variabel

independen terhadap variabel dependen yang diteliti. Dalam upaya memahami hubungan tersebut secara lebih mendalam, digunakan analisis regresi linear berganda sebagai alat analisis statistik. Model ini dipilih karena mampu menjelaskan seberapa besar kontribusi masing-masing variabel bebas secara simultan maupun parsial terhadap variabel terikat. Adapun untuk hubungan antara variabel dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Output uji regresi linear berganda

Coefficients						
Model				Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
1	Konstan	4,410	4,563		0,966	0,337
X ₁	Tekanan	0,080	0,068	0,131	1,179	0,242
X ₂	Lama Pe-Rebusan	-0,001	0,002	-0,079	-0,727	0,469
X ₃	Buah Matang	-0,039	0,045	-2,213	-0,856	0,394
X ₄	Buah Setengah Matang	-0,038	0,046	-3,652	-0,819	0,415
X ₅	Buah Mentah	-0,044	0,045	-2,243	-0,967	0,337
X ₆	Buah lewat matang	-0,031	0,046	-1,491	-0,687	0,494

Adapun dari tabel diatas maka dapat dimasukan kemodel persamaan untuk melihat hubungan dari masing-masing variabel terhadap variabel Y. Adapun untuk nilai model persamaan dapat di tulis dari tabel uji t. Adapun untuk model persamaan analisis regresi dapat di tulis berikut.

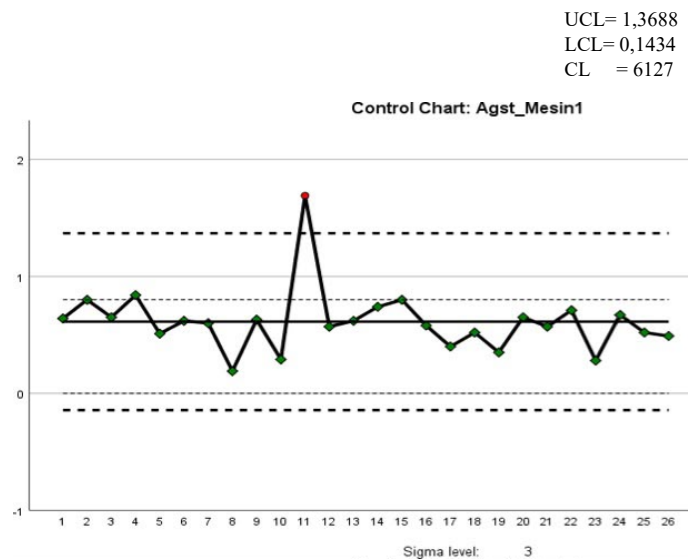
$$Y=4,410+0,080(X_1)-(0,001)(X_2)-(0,039)(X_3)-(0,038)(X_4)-(0,044)(X_5)-(0,031)(X_6)$$

Dari model persamaan diatas maka dapat dilihat bahwa nilai konstan sebesar 4,410 jika variabel X1, X2, X3, X4, X5 dan X6= 0. Adapun dari model persamaan diatas jika nilai variabel X1 mengalami kenaikan 1 unit maka nilai variabel Y akan mengalami kenaikan sebesar 0,080, jika variabel X2 mengalami kenaikan 1 unit maka menurunkan variabel Y sebesar 0,001, jika variabel X3 mengalami kenaikan 1 unit maka akan dapat menurunkan variabel Y sebesar 0,039, jika Variabel X4 mengalami kenaikan 1 unit maka akan menurunkan variabel Y sebesar 0,038, kemudian jika variabel X5 mengalami kenaikan 1 unit maka akan dapat menurunkan variabel Y sebesar 0,044 maka akan dapat menurunkan variabel Y sebesar 0,044 dan jika variabel X6 mengalami kenaikan 1 unit maka akan menurunkan variabel Y sebesar 0,031.

D. Analisis Peta Kendali Pada Proses Perebusan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh beberapa variabel independen terhadap variabel dependen yang diteliti. Dalam upaya memahami hubungan tersebut secara lebih mendalam, digunakan analisis peta kendali.

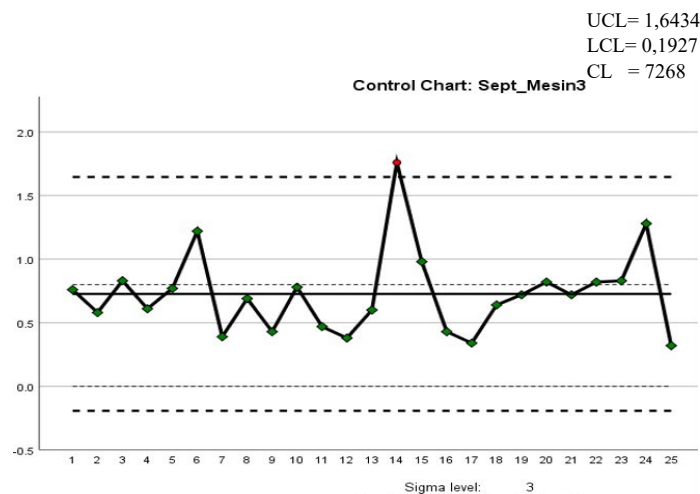
1. Tekanan Tilting Sterilizer



Gambar 1. Konsistensi Tekanan Tilting Sterilizer

Berdasarkan peta kendali di atas, sebagian besar titik pengamatan berada di antara batas kendali atas (*UCL = 1,3688) dan batas kendali bawah (LCL = -0,1434), sehingga proses secara umum masih dalam kondisi terkendali. Namun, terdapat satu titik pada pengamatan ke-11 yang melewati batas kendali atas dan ditandai merah. Hal ini menunjukkan adanya penyimpangan atau kondisi tidak normal pada proses di titik tersebut yang perlu dianalisis lebih lanjut. Sementara itu, pengamatan lainnya masih berada di sekitar garis rata-rata (Average = 0,6127), sehingga proses dapat dikatakan cukup stabil.

2. Waktu Perebusan



Gambar 2. Konsistensi Waktu Perebusan

Berdasarkan peta kendali di atas menunjukkan bahwa proses secara umum masih berada dalam kondisi terkendali, karena hampir seluruh titik pengamatan berada di antara batas kendali atas (UCL = 1,6463) dan batas kendali bawah (LCL = -0,1927). Nilai rata-rata proses berada di sekitar 0,7268.

Namun, terdapat 1 titik dalam batas pengamatan ke-14 yang melewati batas kendali atas (ditandai warna merah). Hal ini mengindikasikan adanya variasi khusus (special cause variation) yang kemungkinan disebabkan oleh faktor tertentu, seperti gangguan mesin, perubahan proses, atau kesalahan operator.

Tekanan dan suhu dalam batas kendali dapat dipengaruhi oleh buah belum matang, jika terdapat buah belum matang maka tekanan dan suhu akan bertambah.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Komposisi fraksi buah tidak berpengaruh terhadap *oil losses*, tekanan dan lama perebusan, kecuali fraksi buah setengah matang berpengaruh terhadap tekanan perebusan.
2. Model hubungan antara variabel fraksi buah dengan *oil losses* adalah
$$Y = 4.410 + 0.080(X_1) - (0.001)(X_2) - (0.039)(X_3) - (0.038)(X_4) - (0.044)(X_5) - (0.031)(X_6)$$
3. Pengendalian proses perebusan di PT AXY menunjukkan inkonsistensi suhu perebusan dan tekanan, mengingat ada satu pengamatan waktu dan tekanan perebusan yang berada diluar batas kendali.

B. Saran :

Pabrik kelapa sawit disarankan mengimplementasikan *tilting sterilizer horizontal* sebagai strategi investasi jangka panjang untuk meningkatkan keuntungan perusahaan dan efisiensi energi. Perawatan dan pemeliharaan perlu dilakukan perawatan rutin pada komponen hidrolik, sistem kontrol, dan engsel agar umur ekonomis *tilting sterilizer horizontal* lebih panjang serta meminimalisasi *downtime* produksi. Perawatan dan pemeliharaan perlu dilakukan perawatan rutin pada komponen hidrolik, sistem kontrol, dan engsel agar umur ekonomis *tilting sterilizer horizontal* lebih panjang serta meminimalisasi *downtime* produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alparisi, S. I. (2021). Kajian Oil Losses Pada Stasiun Tilting Sterilizer Dalam Pengolahan Tandan Buah Segar (Tbs) Menjadi Crude Palm Oil (Cpo). *Doctoral Dissertation, Univeritas Jambi*, 1–4. <https://Repository.Unja.Ac.Id/Id/Eprint/25002>
- Darma, A. Y., Laila, L., & Karuniawan, A. (2021). Penggunaan Metode Failure Mode And Effect Analysis Untuk Mengidentifikasi Kegagalan Dan Pemilihan Tindakan Perawatan (Kasus Stasiun Klarifikasi Pabrik Kelapa Sawit Langling). *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 3(1), 31–35.
- Darma, A. Y., Laila, L., & Zulfikar, G. (2020). Menentukan Keandalan Mesin Digester Dan Screw Press Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis Dan Reliability Block Diagram. *Prosiding Seminar Nasional Nciet*, 1(1), 143–159.
- Hairiyah, N., Amalia, R. R., & Wijaya, A. (2014). Nalisis Total Productive Maintenance(Tpm)Pada Stasiun Kernel Crushing Plant(Kcp) Di Pt. X. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 23(1), 103–110. <https://doi.org/10.25077/jtpa.23.1.103-110.2019>
- Hani, S. N., Hermantoro, & Purwoto, H. (2025). Analisis Pengelolaan Lingkungan Perkebunan Kelapa Sawit Dalam Implementasi Indonesian Sustainable Palm Oil (Ispo). *Agroforetech*, 3(1), 402–410. <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/jom/article/view/1836>
- Lumbantoruan, R., & Purba, J. S. (2025). Pengaruh Tekanan Uap Saat Proses Perebusan Terhadap Tandan Buah Segar Dan Dinding Sterilizer Reynold. *Ikra-Ith Humaniora: Jurnal Sosial Dan Humaniora*, 9(3), 1946–1953. <https://doi.org/10.37817/ikraith-humaniora.V9i3>
- Maimun, T., Arahman, N., Hsb, F. A., & Rahayu, P. (2017). Penghambatan Peningkatan Kadar Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid) Pada Buah Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Asap Cair. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 9(2), 44–49. <https://doi.org/10.17969/jtipi.V9i2.8469>
- Masruroh, L., & Mardesci, H. (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.
- Nasution, M. A., Hasibuan, H. A., & Yudianto, B. G. (2011). Komparasi Sterilizer Konvensional Dan Modern. *Conference Paper*.
- Nurrahman, A., Permana, E., & Musdalifah, A. (2021). Analisa Kehilangan Minyak (Oil Losses) Pada Proses Produksi Di Pt X. *Jurnal Daur Lingkungan*, 4(2), 59–63. <https://doi.org/10.33087/daurling.V4i2.89>
- Prabowo, M., & Ihsan, T. (2023). Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Untuk Mengoptimalkan Waktu C-Check Casa 212-400 I. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 3(2), 1639–1650.
- Purba, B., Zahra, D. A., Almas, K. U., Sihotang, S. E. A., & Mardiah, S. (2025). Pengaruh Ekspor Minyak Kelapa Sawit Terhadap. *Economicus: Jurnal Ekonomi Dan Manajemen*, 15(2), 01–10. <https://doi.org/10.47860/Economicus.V15i2.1>
- Rico, M., Ulfa, M., & Widyowanti, R. A. (2025). Kajian Penggunaan Tilting

- Sterilizer Horizontal Di Pabrik Kelapa Sawit Pt Oxy. *Agroforetech*, 3(4), 2048–2060.
<https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/jom/article/view/2287/1349>
- Sari, N. J. (2026). Analisis Kadar Air Dan Alb Pada Berbagai Posisi Sampling Dalam Storage Tank Crude Palm Oil (Cpo). *Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang*.
<http://eprints.umm.ac.id/id/eprint/31309/1/skripsi.pdf>
- Saukani, M. A., Apriyanti, S. N., Butar-Butar, R., Manurung, E. F., Putra, P. D. D., Raja6, P. M., Purwanto, H., Zakwan, & Rahimah. (2025). Analisa Kehilangan Minyak (Oil Losses) Pada Proses Produksi Di Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Agro Fabrica*, 7(1), 84–94.
<https://ejurnal.itsi.ac.id/index.php/jaf/article/view/307/249>
- Siregar, A. W., & Hasibuan, N. F. A. (2024). Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku Tandan Buah Segar (Tbs) Dalam Menunjang Efektivitas Pengelolaan Persediaan Pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit (Ppks) Medan. *Jurnal Riset Ilmu Akuntansi*, 3(1), 01–19.
<https://doi.org/10.55606/Akuntansi.V2i4.1450>
- Subiyanto. (2012). Pemilihan Teknologi Sterilizer Pada Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Teknik Industri*, 14(2), 159–172. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.Vol14.No2.160-173>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Dokumentasi Penelitian

NO	Gambar	Keterangan
1.		Stasiun penerimaan atau <i>loading ramp</i> seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, merupakan stasiun awal pengolahan TBS di pabrik kelapa sawit yang berfungsi sebagai tempat penimbunan sementara setelah melalui jembatan timbang, sekaligus lokasi pembongkaran buah dari truk dan pemindahan ke lori perebusan.
2.		<i>Sterilizer</i> konvensional <i>horizontal</i> seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, digunakan di stasiun <i>sterilizer</i> . <i>Sterilizer</i> konvensional <i>horizontal</i> merupakan teknologi yang paling lama digunakan di industri kelapa sawit. Sistem ini menggunakan lori baja beroda yang berisi 1,5–15 ton TBS, dimasukkan ke dalam bejana <i>horizontal</i> dengan pemanasan uap bertekanan
3.		Berdasarkan Gambar 3, <i>sterilizer</i> vertikal adalah bejana perebusan tandan buah segar (TBS) dengan posisi tegak (vertikal). Sistem ini masih bekerja secara batch, namun sudah dibantu dengan otomatisasi (<i>conveyor</i> untuk pengangkutan TBS, pintu hidrolik, dan PLC).
4.		<i>Tilting sterilizer horizontal</i> merupakan inovasi terbaru dengan posisi <i>horizontal</i> yang dapat dimiringkan (<i>tilting</i>) untuk memudahkan proses pengisian dan pengeluaran. Alat ini bekerja dengan sistem miring (<i>tilting</i>) sehingga memudahkan proses pengisian dan pengeluaran bahan. Sistem otomatis akan memindahkan (TBS) ke dalam sterilisator, kemudian setelah proses selesai, hasilnya berupa <i>sterilized fresh bunches</i> (SFB) dipindahkan ke stasiun berikutnya.

Data Primer

Oil Losses	Tekanan	Lama Perebusan	Buah Matang	Buah Setengah Matang	Buah Mentah	Buah Lewat Matang
0,66	2,87	81	73,80	21,23	0,10	4,74
0,74	2,78	83	73,41	21,47	0,69	4,05
0,72	2,9	83	72,50	20,00	3,02	4,48
0,67	3,03	78	75,91	19,96	0,13	4,00
0,61	2,76	86	80,49	15,00	0,20	4,31
0,56	2,76	86	74,53	21,12	0,13	4,01
0,64	3,04	85	73,83	22,21	0,40	3,56
0,75	2,92	84	69,82	24,63	0,25	5,24
0,7	2,73	78	68,59	28,13	0,27	2,88
0,58	2,88	83	74,60	23,10	0,10	2,20
0,69	2,73	83	69,67	24,51	0,41	5,26
0,71	2,73	81	74,58	22,20		3,13
0,61	2,84	84	71,40	23,44	0,07	5,10
0,69	2,51	87	71,02	22,96	2,00	3,92
0,68	2,54	94	70,58	25,46	0,13	3,31
0,59	2,72	86	73,98	20,57	0,01	5,27
0,71	2,65	86	63,45	30,00	2,64	3,64
0,72	2,85	85	74,00	21,35	0,17	4,36
0,77	2,66	75	68,96	26,76	0,47	3,60
0,76	2,59	85	73,38	23,72	0,12	2,70
0,57	3,02	85	72,60	22,85	0,44	4,11
0,6	2,77	97	70,53	23,42	0,56	5,49
0,72	2,81	84	71,22	23,71	0,19	4,82
0,72	2,59	87	62,82	31,55	2,18	3,45
0,72	2,72	85	71,85	23,12	0,85	4,00
0,99	2,82	79	70,96	23,52	0,07	5,45
0,73	2,63	91	67,00	28,15	0,85	4,00
0,77	2,86	89	67,97	27,01	0,25	4,77
0,76	2,71	89	68,26	28,12	0,57	3,00
0,73	2,76	80	71,18	25,23	1,00	2,53
0,65	2,71	92	65,54	28,85	1,31	4,08
0,74	3,08	78	70,68	23,99	0,10	4,89
0,62	2,8	88	71,04	25,74	0,38	2,85
0,66	2,64	96	70,49	24,10	0,36	5,06
0,64	2,92	80	70,92	22,21	0,17	6,48
0,69	2,62	82	71,72	18,03	0,69	9,38
0,87	2,83	85	70,76	23,40	0,29	5,34
0,53	2,51	82	63,40	28,60	2,00	6,00
0,73	2,6	77	68,95	24,92	0,25	5,80
0,55	2,83	85	69,10	23,43	-	7,30
0,64	2,91	80	64,71	30,93	0,07	4,20
0,77	2,83	87	62,27	28,94	0,53	6,48
0,69	2,78	80	66,79	28,64	0,53	3,64
0,59	2,75	93	59,34	36,66	0,45	3,37
0,62	2,58	81	55,50	38,25	4,67	1,58
0,73	2,69	83	57,69	38,80	0,80	2,27

0,62	2,73	89	57,78	37,36	1,11	3,23
0,7	2,96	79	56,41	39,80	0,82	2,56
0,68	2,85	86	61,04	35,02	0,83	2,89
0,63	2,54	92	63,82	30,77	2,15	3,04
0,85	2,85	77	62,54	33,29	0,36	3,60