

Analysis of steam consumption in the crude palm oil sterilizer during a 90-minute boiling process

Yasir Amani*, M. Ronny Syahputra Siregar, Faisal, Heindrix Hidayat

Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh

*Corresponding author: yasir.amani@unimal.ac.id

Article Processing Dates:

Received 2025-07-10

Accepted 2025-09-28

Available online 2025-09-30

Keywords:

Sterilizer

Boiling

Steam

Capacity

Pressure

Abstract

In crude palm oil production, productivity largely depends on the performance of the *sterilizer*, particularly the horizontal type that operates using steam pressure. This study aimed to analyze the performance of the *sterilizer* by observing the boiling process of fresh fruit bunches (FFB) and determining the heat required during a single sterilization cycle. Observations were carried out throughout the sterilization process, with steam pressure monitored using the pressure gauge located on top of the *sterilizer* vessel. The daily steam requirement varied, with the highest recorded on the 10th day, reaching 1,050 kg of steam for 735 tons of FFB. Interestingly, a higher volume of FFB did not always correspond to a higher steam demand. On average, the sterilization process required 827 kg of steam per ton of FFB over 24 hours. At PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Dolok Sinumbah, the horizontal *sterilizer* operates with a triple-peak system, a boiling time of 90–100 minutes, steam pressure of 2.8–3.2 kg/cm², and temperatures between 120–135 °C. The results indicate that the heat required reached 738,160.5 kcal/s, the latent heat was 7,772,760 kJ, and the total steam consumption amounted to 8,510,920.5 kcal for 30 tons of FFB.

Analisa kebutuhan steam di *sterilizer* crude palm oil selama 90 menit perebusan

Abstrak Dalam produksi minyak kelapa sawit mentah (crude palm oil), produktivitas sangat bergantung pada kinerja *sterilizer*, khususnya tipe horizontal yang beroperasi menggunakan tekanan uap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *sterilizer* melalui pengamatan proses perebusan tandan buah segar (TBS) serta menentukan kebutuhan kalor dalam satu siklus perebusan. Pengamatan dilakukan sepanjang proses *sterilizer* bekerja, dengan tekanan uap dipantau melalui pressure gauge yang terpasang di bagian atas bejana *sterilizer*. Kebutuhan uap harian bervariasi, di mana angka tertinggi tercatat pada tanggal 10, yakni sebesar 1.050 kg uap untuk 735 ton TBS. Menariknya, jumlah TBS yang lebih besar tidak selalu berbanding lurus dengan kebutuhan uap yang lebih tinggi. Rata-rata kebutuhan uap pada perebusan selama 24 jam adalah 827 kg uap/ton TBS. Di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Dolok Sinumbah, *sterilizer* horizontal bekerja dengan sistem tiga puncak (triple peak), waktu perebusan 90–100 menit, tekanan 2,8–3,2 kg/cm², dan temperatur antara 120–135 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kalor yang dibutuhkan mencapai 738.160,5 kkal/s, panas laten sebesar 7.772.760 kJ, serta total konsumsi uap sebesar 8.510.920,5 kkal untuk 30 ton TBS.

Kata kunci: *Sterilizer*, perebusan, uap, kapasitas, tekanan.

1. Pendahuluan

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian Indonesia karena berperan besar dalam menopang pendapatan masyarakat sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi nasional. Sebagai komoditas unggulan, kelapa sawit tidak hanya menjadi sumber mata pencaharian bagi masyarakat pedesaan, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap devisa negara melalui ekspor minyak sawit mentah atau crude palm oil (CPO). Perkebunan kelapa sawit telah terbukti mampu bertahan dalam berbagai kondisi, termasuk pada masa krisis ekonomi, sehingga menjadikannya sektor yang relatif stabil dibandingkan komoditas lain. Dalam konteks global, perkembangan perkebunan kelapa sawit semakin pesat seiring dengan meningkatnya permintaan minyak nabati yang dimulai sejak Revolusi Industri pada pertengahan abad

ke-19.

Di Indonesia, pengelolaan perkebunan kelapa sawit dilakukan oleh perusahaan swasta, pemerintah, maupun masyarakat dengan menerapkan berbagai pola manajemen.. Proses pengelolaan ini mencakup tahapan awal seperti land clearing, penanaman, pemeliharaan tanaman, hingga tahap pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak sawit. Pada tahap pengolahan, salah satu proses penting yang menentukan kualitas dan kuantitas minyak sawit yang dihasilkan adalah proses perebusan atau sterilisasi. Sterilisasi dilakukan dengan menggunakan peralatan yang disebut *sterilizer*, yaitu bejana tekan yang berfungsi untuk merebus TBS dengan uap (steam). Proses ini memiliki peranan penting karena berfungsi mematikan enzim lipase yang dapat memicu peningkatan asam lemak bebas, melunakkan buah sehingga memudahkan pelepasan dari tandan, serta mengurangi kadar air pada buah untuk mendukung efisiensi

proses selanjutnya [1-3].

Sterilizer umumnya bekerja dengan sistem triple peak, yaitu tiga tahapan perebusan yang menggunakan tekanan uap pada rentang 2,8–3,2 kg/cm² dengan temperatur 120–135 °C dalam waktu 90–100 menit. Parameter-parameter tersebut harus dikendalikan dengan tepat karena perebusan yang terlalu lama dapat menurunkan kualitas minyak dengan menghasilkan warna yang lebih gelap serta meningkatkan kehilangan minyak pada air kondensat, sementara perebusan yang terlalu singkat dapat menyebabkan brondolan sulit terlepas, proses pelumatan di digester tidak sempurna, dan biji tidak terpecah dengan baik sehingga menambah kerugian minyak pada ampas [4-9].

Dalam konteks rekayasa proses, analisis kebutuhan uap pada *sterilizer* sangat penting karena steam merupakan media penghantar panas utama dalam perebusan. Besarnya kebutuhan uap akan memengaruhi efisiensi energi, kualitas minyak, dan umur peralatan. Selain itu, jumlah kalor yang dibutuhkan selama proses perebusan dapat dihitung untuk mengetahui seberapa besar energi panas yang masuk ke dalam sistem. Konsep kalor dalam termodinamika didefinisikan sebagai energi yang berpindah akibat perbedaan temperatur, sedangkan kebutuhan steam dihitung berdasarkan panas laten penguapan air yang digunakan dalam proses perebusan. Dengan demikian, pemahaman mengenai hubungan antara jumlah TBS yang direbus, kebutuhan uap, serta kalor yang dihasilkan menjadi kunci dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses pengolahan CPO [10-15].

Optimasi proses sterilisasi pada tandan buah segar kelapa sawit telah banyak dikaji, salah satunya oleh Junaidah dkk. (2015) yang meneliti pengaruh tingkat kematangan buah terhadap kondisi sterilisasi dan menemukan bahwa variasi tingkat kematangan memengaruhi efisiensi proses perebusan [8]. Penelitian lebih lanjut oleh Renjani dkk. (2024) menganalisis kehilangan minyak (*oil losses*) pada *sterilizer* melalui variasi tekanan dan waktu perebusan, khususnya pada tandan buah segar dengan fraksi buah yang terlalu matang, dan hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi parameter operasi sangat menentukan kualitas minyak yang dihasilkan [9]. Sementara itu, kajian termal pada sistem *sterilizer* juga dilakukan oleh Hidayati (2016) yang menekankan pentingnya analisis distribusi panas dalam bejana *sterilizer* untuk memahami kebutuhan energi serta potensi optimasi kinerja perebusan [10].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *sterilizer* dengan mengamati proses perebusan TBS pada sistem triple peak. Analisis dilakukan dengan cara memantau tekanan dan kebutuhan uap pada saat perebusan serta menghitung jumlah kalor yang dibutuhkan dalam satu siklus perebusan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai kebutuhan energi dan steam pada proses sterilisasi sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam optimasi operasi pabrik kelapa sawit, khususnya pada PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Dolok Sinumbah.

2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan persiapan tempat penelitian, yaitu di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Dolok Sinumbah, yang merupakan salah satu unit pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas besar. Pemilihan lokasi ini dilakukan karena fasilitas *sterilizer* yang dimiliki pabrik dapat mewakili kondisi operasional aktual dalam industri kelapa sawit.

Setelah itu, dilakukan persiapan material dan peralatan penelitian. Bahan utama yang digunakan adalah tandan buah segar (TBS) sebagai sampel perebusan, serta uap air (steam) sebagai media penghantar panas. Peralatan yang digunakan meliputi *sterilizer* horizontal sebagai media perebusan, lori berkapasitas 2,5 ton untuk setiap muatan TBS, serta instrumen pengukuran berupa pressure gauge, termometer, dan alat ukur dimensi seperti meteran untuk menentukan ukuran bejana maupun lori. Pemilihan bahan dan peralatan ini sangat penting karena memengaruhi ketepatan data yang diperoleh dalam analisis kebutuhan steam dan energi kalor.

Pada tahap berikutnya, dilakukan penentuan tekanan yang dibutuhkan dalam setiap perebusan dengan sistem tiga puncak (*triple peak*). Proses perebusan dibagi ke dalam tiga tahap utama, yaitu tahap pertama perebusan dengan tekanan rendah, tahap kedua perebusan dengan tekanan sedang, dan tahap ketiga perebusan dengan tekanan tinggi. Ketiga tahapan ini diamati secara cermat untuk memastikan kesesuaian dengan standar operasional pabrik serta untuk mengetahui distribusi kebutuhan energi pada masing-masing fase perebusan.

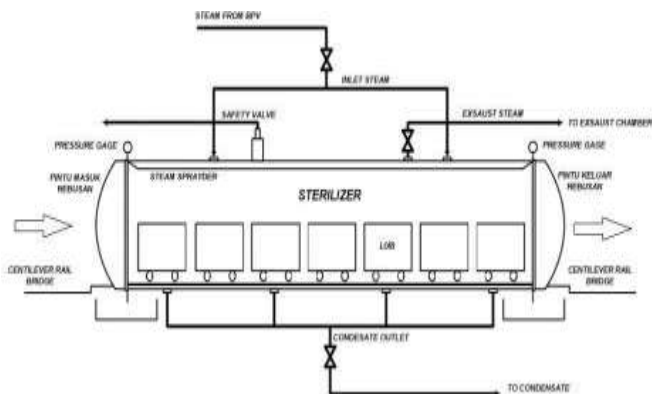
Pengamatan lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer mengenai kinerja *sterilizer* selama perebusan TBS. Pengamatan tersebut mencakup pengukuran dimensi *sterilizer* dengan cara mengukur diameter, panjang, dan tinggi bagian dalam maupun luar bejana menggunakan alat ukur. Selanjutnya, dilakukan pengukuran volume lori dengan cara mengukur tinggi dan lebar lori, sehingga kapasitas aktual lori dapat diketahui secara presisi. Volume TBS dihitung berdasarkan muatan lori, di mana satu unit *sterilizer* terdiri dari sepuluh lori dengan kapasitas 2,5 ton per lori, sehingga total kapasitas *sterilizer* dapat mencapai 25 ton TBS dalam sekali perebusan.

Selain itu, dilakukan pula pengamatan terhadap sistem perebusan tiga puncak dengan mencatat setiap proses yang berlangsung pada masing-masing peak. Tekanan *sterilizer* selama perebusan diamati secara langsung menggunakan pressure gauge yang terpasang di bagian atas bejana. Observasi dilakukan sejak awal perebusan hingga proses perebusan selesai, sehingga data tekanan uap pada setiap tahap dapat diperoleh secara menyeluruh. Hal ini penting karena kebutuhan uap pada pabrik kelapa sawit bersifat fluktuatif dan sangat dipengaruhi oleh tekanan operasi *sterilizer*.

Tahap terakhir adalah pengolahan data. Data yang diperoleh dari observasi lapangan, seperti dimensi bejana, kapasitas lori, volume TBS, lama perebusan, serta variasi tekanan uap, dikompilasi untuk dianalisis. Perhitungan kuantitas steam dilakukan untuk mengetahui kebutuhan aktual uap pada pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton per jam. Analisis ini difokuskan pada kebutuhan steam bertekanan rendah sekitar 3 kg/cm², yang merupakan kondisi umum operasional *sterilizer*. Hasil pengolahan data ini menjadi dasar untuk menentukan konsumsi energi panas dalam bentuk kalor dan panas laten, sehingga memberikan gambaran kuantitatif mengenai efisiensi proses perebusan TBS dalam menghasilkan CPO.

Penelitian ini dilakukan dengan fokus pada proses perebusan (*sterilizer*) dalam produksi minyak sawit mentah (crude palm oil, CPO). *Sterilizer* merupakan salah satu peralatan utama pada pabrik kelapa sawit, berfungsi untuk merebus tandan buah segar (TBS) menggunakan uap (steam). Perebusan ini sangat penting karena mampu mempermudah pelepasan buah dari tandan, memastikan

enzim lipase yang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas, serta mengurangi kadar air dalam buah sehingga proses pengolahan berikutnya dapat berjalan lebih efisien. Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai struktur dan komponen *sterilizer*, sketsa dan bagian-bagian *sterilizer* ditampilkan pada Gambar 1.



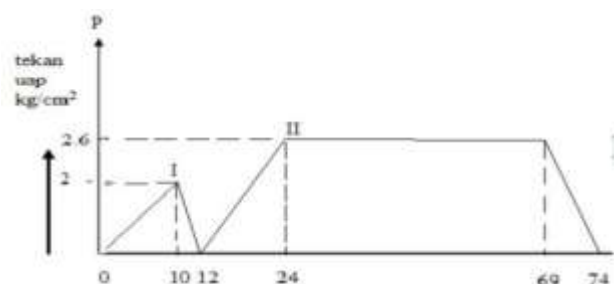
Gambar 1. Sketsa dan bagian *Sterilizer*

Sterilizer yang digunakan di PKS Dolok Sinumbah merupakan tipe horizontal dengan tiga unit, masing-masing menampung 10 lori berkapasitas 2,5 ton TBS, sehingga total kapasitas mencapai 30 ton per jam. *Sterilizer* dioperasikan pada suhu 120–150 °C dengan tekanan 2,8–3,0 kg/cm², yang harus dikendalikan secara ketat karena perebusan terlalu lama dapat meningkatkan oil losses dan menggelapkan warna CPO, sedangkan perebusan terlalu singkat dapat menyebabkan brondolan sulit lepas, pelumatan di digester tidak sempurna, dan pemecahan biji tidak maksimal.

Metode yang digunakan adalah perebusan tiga puncak (*triple peak*), dimulai dari persiapan dan deaerasi, kemudian tiga tahap perebusan dengan tekanan berturut-turut 0,8–2,2 kg/cm², 1,5–2,5 kg/cm², dan 2,8–3,0 kg/cm², dengan siklus buka-tutup kran untuk mengatur kenaikan dan penurunan tekanan hingga proses selesai. Sebagai perbandingan, penelitian ini juga menjelaskan sistem perebusan satu puncak (*single peak*) dan dua puncak (*double peak*), masing-masing dengan pola peningkatan tekanan, penahanan, dan pembuangan uap yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

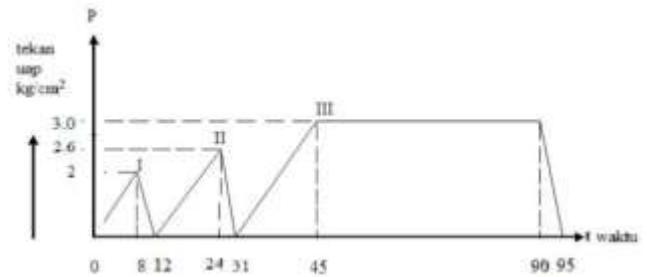


Gambar 2. Sistem Perebusan *Single Peak* (SPSP)



Gambar 3. Sistem perebusan *Double peak*

Sementara itu, sistem perebusan triple peak sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4. merupakan metode yang umum digunakan di PKS Dolok Sinumbah. Tahapannya meliputi peningkatan tekanan uap puncak pertama dari 0 ke 2 kg/cm² selama ±8 menit, diikuti pembuangan uap ke 0 kg/cm² selama ±4 menit, kemudian tekanan dinaikkan kembali pada puncak kedua hingga 2,6 kg/cm² selama ±12 menit, ditahan, lalu dibuang hingga 0 kg/cm² selama ±7 menit. Proses berlanjut dengan puncak ketiga, di mana tekanan dinaikkan hingga 3 kg/cm² selama ±14 menit, ditahan selama ±45 menit, dan diakhiri dengan pembuangan uap dari 3 ke 0 kg/cm² dengan pelepasan kondensat selama ±5 menit.



Gambar 4. Sistem Perebusan *Triple Peak*

Faktor-faktor yang memengaruhi kualitas perebusan antara lain durasi waktu yang tidak sesuai standar. Perebusan yang terlalu lama dapat menyebabkan minyak yang diperoleh memiliki warna lebih tua, buah menjadi lebih kering sehingga kandungan minyak berkurang, serta meningkatkan losses minyak pada air kondensat. Sebaliknya, perebusan yang terlalu singkat menyebabkan brondolan sukar lepas dari tandan, kehilangan brondolan pada janjang kosong meningkat, sebagian buah memerlukan perebusan ulang, proses pelumatan di digester tidak sempurna, serta menyebabkan sebagian daging buah tidak terlepas dari biji sehingga menambah kehilangan minyak pada ampas maupun inti.

Dengan metode penelitian yang terstruktur ini, diharapkan analisis kebutuhan uap pada *sterilizer* dapat diperoleh secara akurat untuk memberikan gambaran mengenai kinerja perebusan TBS pada sistem tiga puncak di PKS Dolok Sinumbah.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengumpulan data dilakukan terhadap kerja *sterilizer* yang dilihat pada Tabel 1. Hasil pengumpulan data yang akan dilakukan yaitu analisa performa kerja *sterilizer* (perebusan) tipe horizontal dengan menggunakan tekanan uap yang masuk sama dengan uap yang dibutuhkan dalam sekali perebusan.

Tabel 1. Hasil Pengumpulan Data

Data Observasi	
Suhu awal <i>sterilizer</i>	30°C
Suhu <i>sterilizer</i> setelah bekerja	135°C
Kapasitas <i>Sterilizer</i>	25 Ton/Unit
Hasil serabut 1 ton tbs	120 Kg

Adapun data teknis *Sterilizer* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 3.5.1.1. Bentuk/model: Silinder memanjang *horizontal*
- 3.5.1.2. Diameter Silinder bagian dalam : 2700 mm

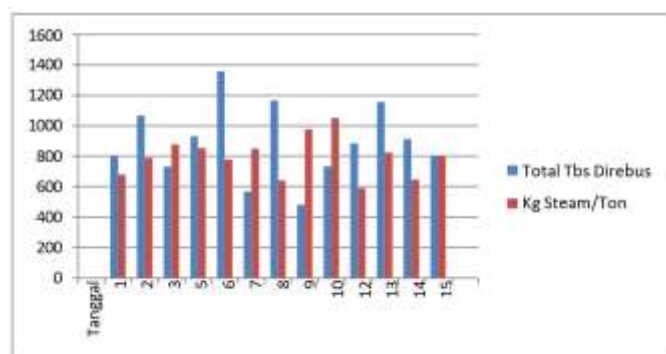
- 3.5.1.3. Diameter Silinder bagian luar: 2720 mm
- 3.5.1.4. Panjang *Sterilizer*: 19450 mm
- 3.5.1.5. Kapasitas: 25 Ton (10 lori x 2,5 ton TBS)
- 3.5.1.6. Tekanan uap: 2,8 s/d 3,0 kg/cm²
- 3.5.1.7. Temperatur uap: 120.°C-135 °C
- 3.5.1.8. Waktu perebusan: 90-100 menit
- 3.5.1.9. Mengeluarkan dan Masukkan Lori: 10 menit
- 3.5.1.10. Jumlah TB/Lori: 2,5 Ton TBS
- 3.5.1.11. Banyak *Sterilizer* dipakai: 3 Unit
- 3.5.1.12. Jumlah Lori / *Sterilizer*: 10 lori
- 3.5.1.13. Jumlah Perebusan selama 24 jam: 14 s/d 15 kali
- 3.5.1.14. Jumlah Pipa kondensat/*Sterilizer*: 5 - 6 pipa
- 3.5.1.15. Sistem Perebusan: 3 tahap perebusan

Analisis kebutuhan uap pada penelitian ini difokuskan pada sistem perebusan triple peak, dengan data kebutuhan uap harian yang telah dihimpun secara sistematis dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Uap Harian

Tanggal	Total Tbs Direbus (Ton)	Air Rebusan <i>Sterilizer</i>	Kg Steam/Ton Tbs
1	805	914,1	680
2	1.069	845,7	788
3	733	817,2	877
5	932	656,1	854
6	1.358	628,8	778
7	570	786,2	850
8	1.168	159,7	641
9	483	811,2	977
10	735	842,7	1,050
12	885	540,6	591
13	1.157	626,1	825
14	914	572,5	647
15	808	786,2	801

Analisis kebutuhan uap pada sistem perebusan triple peak disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan interpretasi hasil, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kebutuhan Uap

Berdasarkan grafik pada Gambar 5., kebutuhan uap harian menunjukkan variasi yang cukup signifikan, di mana setiap hari jumlah uap yang dibutuhkan berbeda-beda. Nilai tertinggi tercatat pada tanggal 10 dengan kebutuhan uap mencapai 1.050 kg untuk total TBS sebanyak 735 ton. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah TBS yang direbus tidak selalu berbanding lurus dengan banyaknya uap yang digunakan dalam proses perebusan. Secara keseluruhan, rata-rata kebutuhan uap selama perebusan dalam 24 jam adalah sebesar 827 kg uap per ton TBS. Dengan mengetahui kapasitas perebusan di PT. Perkebunan Nusantara IV PKS Dolok Sinumbah, maka tekanan yang dibutuhkan pada setiap puncak perebusan dapat ditentukan secara lebih akurat. Data mengenai kebutuhan tekanan pada setiap puncak perebusan tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan Uap Tekanan di Setiap Puncak Puncak Ketiga (psi) Kg Steam/Ton TBS

Puncak Ketiga (psi)	Kg Steam/Ton TBS
40	680
40	788
41	877
41	854
41	778
41	850
41	641
42	977
42	1,050
42	591
43	825
43	647
44	801

Berdasarkan Tabel 3. di atas maka dapat diketahui besarnya tekanan uap selama perebusan Tandan Buah Segar (TBS) pada puncak pertama sampai dengan puncak ketiga. Selain diketahui besarnya tekanan uap juga dapat diketahui besarnya kebutuhan uap per Kg nya pada Tandan Buah Segar (TBS) dalam perebusan. Kebutuhan steam merupakan isu penting dalam pengolahan minyak sawit. Hampir setiap proses pengolahan minyak sawit menggunakan uap sebagai bahan bakar, aktivator atau bahan pensteril. Saat mengolah minyak sawit, kebutuhan steam tidak boleh kurang dari standar pengolahan minyak sawit. Bila hal ini terjadi, maka berakibat fatal bagi peralatan yang digunakan dalam perawatan dan hasil perawatan.

Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan tekanan uap yang tepat pada saat perebusan buah segar (TBS), langkah awal dalam pengolahan TBS adalah perebusan atau sterilisasi yang dilakukan dalam bejana tekan (*sterilizer*) dengan uap.

Penggunaan uap memungkinkan terjadinya hidrolisis/penguapan air pada buah, penggunaan uap kering dapat membakar kulit buah sehingga mencegah air menguap pada daging dan juga mempersulit proses pengepresan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas steam yang digunakan sebagai sumber titik didih sangat penting untuk mencapai hasil masakan yang sempurna. Selain itu, keluaran uap yang dihasilkan oleh ketel harus memenuhi persyaratan uapnya untuk memproses tandan buah segar (TBS). Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui keluaran steam yang dihasilkan oleh boiler dan kebutuhan steam untuk pengolahan plant. Jika jumlah uap yang dihasilkan oleh boiler tidak mencukupi, salah satu akibatnya adalah waktu perebusan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit meningkat karena tekanan perebusan berkurang, yang mengganggu proses perebusan, termasuk suhu perebusan proses diterima.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kerja *sterilizer* horizontal pada PKS Dolok Sinumbah menggunakan metode perebusan tiga puncak (triple peak) dengan waktu perebusan berkisar antara 90 hingga 100 menit, tekanan operasi 2,8–3,2 kg/cm², serta temperatur 120–135 °C. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan energi pada proses tersebut cukup besar, di mana kalor yang dibutuhkan mencapai 738.160,5 kkal/s dengan panas laten sebesar 7.772.760 kJ, sedangkan total kebutuhan uap untuk merebus 30 ton TBS adalah 8.510.920,5 kkal. Temuan ini memberikan gambaran mengenai besarnya konsumsi energi dan uap dalam proses sterilisasi, yang sekaligus dapat menjadi acuan dalam upaya optimasi efisiensi energi pada pengolahan minyak sawit mentah (CPO).

Referensi

- [1] Kartimin, *Garis-Garis Besar Mesin Kelapa Sawit*. Jakarta, Indonesia: UI Press, 1984.
- [2] Pardamean, *Panduan Lengkap Pengolahan Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit*. Jakarta, Indonesia: Agro Media, 2008.
- [3] Pardamean, *Sukses Membuka Kebun Kelapa Sawit dan Pabrik Kelapa Sawit*. Jakarta, Indonesia: Penebar Swadaya, 2012.
- [4] A. M. Baldani and Ta'ali, "Perancangan Sistem Kontrol (*Sterilizer* Vertical) Kelapa Sawit Berbasis Arduino UNO," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional (JTEV)*, vol. 6, no. 2, pp. 87–98, 2020.
- [5] A. L. Mubarok, A. Sofwan, and P. Bismantolo, "Analisa Performa Kerja (*Sterilizer* of Crude Palm Oil)," *Rekayasa Mekanika*, vol. 6, no. 1, pp. 39–50, 2022.
- [6] R. A. Rafil, L. M. Sinaga, S. Kurniadi, E. Elfiano, and S. A. Saragih, "Analisa Termal Pada (*Sterilizer* Crude Palm Oil) di PT Perkebunan Nusantara V Sei Galuh," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 8, no. 1, pp. 44–62, 2023.
- [7] F. D. Yuliansyah, "TA: Mempelajari Mesin Ripple Mill Pada Stasiun Pemecah Biji Kelapa Sawit di PTPN VII Unit Sungai Lengi Kecamatan Gunung Megang Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan," Diploma Thesis, Politeknik Negeri Lampung, 2023.
- [8] M. J. Junaidah, A. R. Norizzah, O. Zaliha, and S. Mohamad, "Optimisation of sterilisation process for oil palm fresh fruit bunch at different ripeness," *Int.*

- Food Res. J.*, vol. 22, no. 1, p. 275, 2015.
- [9] R. A. Renjani, B. D. Panjaitan, N. N. Fadhillah, and H. Purwoto, "Analysis of *sterilizer* oil losses through variations in pressure and boiling time with dominated fresh fruit bunch overripe fraction," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 12, no. 1, pp. 126–135, 2024.
- [10] D. Hidayati, "Analisis termal pada *sterilizer* crude palm oil di PT Boma Bisma Indra," *Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2016.
- [11] R. Nokkaew and V. Punsuvon, "Sterilization of oil palm fruits by microwave heating for replacing steam treatment in palm oil mill process," *Adv. Mater. Res.*, vol. 1025, pp. 470–475, 2014.
- [12] S. R. P. S. Primandari, M. Mulianti, and H. Veny, "The The effect of sterilization time on oil loss into the condensate water of *sterilizer* in the crude palm oil industry," *J. Tek. Kim.*, vol. 29, no. 3, pp. 163–171, 2023.
- [13] A. L. Mubarok, A. Sofwan, and P. Bismantolo, "Analisa Performa Kerja *Sterilizer* Of Crude Palm Oil," *Rekayasa Mek.*, vol. 6, no. 1, pp. 39–50, 2022.
- [14] S. Hanifarianty, S. Pakdeechot, and M. Wae-hayee, "The effects of sterilization time of FFB on fruit-bunch separation and crude palm oil quality using direct steaming," *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 72, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [15] Y. Palaniandy, N. M. Adam, Y. P. Hung, and F. H. Naning, "Potential of steam recovery from excess steam in *sterilizer* at palm oil mill," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 79, no. 1, pp. 17–26, 2020.