

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Crude Palm Oil (CPO) atau minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang diperoleh dari komoditi kelapa sawit khususnya pada bagian daging buah yang melekat pada Tandan Buah Segar (TBS). Komponen penyusun minyak kelapa sawit terdiri dari trigliserida, asam lemak bebas dan komponen non-trigliserida seperti karotenoid, tokoferol, sterol dan yang lainnya. Warna dari minyak kelapa sawit adalah merah-jingga karena mengandung pigmen karotenoid. Kandungan β -karoten pada minyak kelapa sawit sekitar 500 – 700 ppm dan merupakan sumber karoten alami terbesar. Proses pengolahan TBS menjadi CPO terdiri dari beberapa tahapan diantaranya penimbangan, penyortiran, perebusan (sterilisasi), penebah (thresher), pencacah (digester), pengepresan (pressing), pemurnian (clarification), dan penyimpanan. [1]

Salah satu metode yang digunakan untuk menjaga kualitas CPO selama penyimpanan adalah proses heating atau pemanasan. Heating berfungsi untuk menjaga suhu CPO tetap berada pada kondisi cair dan stabil, mencegah pembentukan kristal lemak, dan memudahkan proses transfer fluida. Menurut Ambarita *et al.*, (2022) bahwa pemanasan CPO membutuhkan uap panas steam dengan tekanan tertentu sesuai dengan ketahanan pipa, packing dan tangki timbun. Pengaliran uap bertujuan untuk meningkatkan temperatur CPO dimana akan menurunkan kekentalan atau density CPO yang bertujuan untuk pemompaan minyak ke tempat tujuan yang akan dituju seperti pabrik refinery (pemurnian) ataupun ke tanker (kapal tangki). Dimana temperatur maksimal yang diminta atau pada umumnya adalah 50°C, dimana pada umumnya temperatur awal CPO adalah 38°C sampai 40°C. [2]

Efektivitas proses heating tidak hanya ditentukan oleh suhu, tetapi juga oleh durasi pemanasan, desain sistem pemanas, serta efisiensi perpindahan panas dalam tangki. Dalam konteks industri, heating juga berkontribusi besar terhadap konsumsi energi. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara menjaga mutu minyak dan

efisiensi energi. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu pemanasan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan mutu minyak dan pemborosan energi. Maka dari itu, perlu dilakukan evaluasi teknis yang komprehensif terkait penerapan heating pada proses penyimpanan CPO.

PT PHPO Unit Belawan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang penyimpanan dan pengelolaan CPO, yang berlokasi strategis di kawasan pelabuhan Belawan, Sumatera Utara. Dalam proses operasionalnya, perusahaan ini menerapkan sistem heating pada tangki timbun untuk mempertahankan kualitas CPO yang ditampung sebelum proses distribusi. Namun, sejauh ini belum terdapat kajian ilmiah yang secara spesifik menilai efektivitas sistem heating tersebut terhadap stabilitas mutu CPO yang disimpan, termasuk potensi pengaruhnya terhadap FFA, kadar air, dan performa energi selama masa simpan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh proses heating terhadap efektivitas penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi parameter-parameter utama mutu minyak selama proses pemanasan, seperti suhu, waktu simpan, FFA, dan kadar air. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis bagi perusahaan dalam meningkatkan efisiensi penyimpanan CPO yang berkualitas serta dapat menjadi referensi teknis bagi pengembangan sistem penyimpanan minyak kelapa sawit di industri sejenis.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian dengan judul **“Analisa Pengaruh Proses Heating Terhadap Efektivitas Penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan”**.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang diatas, maka rumusan pokok permasalahan adalah :

1. Bagaimana tingkat kualitas proses heating penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan?
2. Berapa Nilai Kalor dan Nilai Kebutuhan Uap yang dibutuhkan pada proses heating CPO di PT PHPO Unit Belawan?

3. Berapa Nilai Efisiensi yang didapatkan pada proses heating CPO di PT PHPO Unit Belawan?
4. Bagaimana pengaruh Nilai Kalor yang diserap CPO pada proses pemanasan terhadap Nilai Kuantitas CPO?
5. Bagaimana pengaruh Nilai Efisiensi Pemanasan yang didapat pada proses heating terhadap nilai kualitas CPO setelah dilakukan pemanasan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan penelitian adalah:

1. Menganalisis bagaimana kualitas proses heating pada penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan.
2. Mengetahui nilai kalor yang diserap CPO dan nilai efisiensi pemanasan yang didapatkan selama proses heating pada penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan.
3. Mengetahui pengaruh nilai kalor yang diserap CPO dan nilai efisiensi pemanasan yang didapatkan terhadap kuantitas dan kualitas CPO di PT PHPO Unit Belawan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian di dapat beberapa manfaat:

1. Dapat mengaplikasikan ilmu yang diperoleh dalam susunan skripsi ini untuk meningkatkan kualitas proses heating pada penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan.
2. Menambah wawasan mengenai proses heating CPO dan pengaruh nya terhadap efektifitas penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan.
3. Dapat mengembangkan pengetahuan yang didapatkan dari hasil penelitian dalam menganalisis pengaruh proses heating terhadap efektifitas penyimpanan CPO di PT PHPO Unit Belawan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Baku CPO

Crude Palm Oil (CPO) adalah minyak kelapa sawit mentah yang diperoleh dari proses ekstraksi daging buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Minyak mentah kelapa sawit mentah (CPO) merupakan hasil olahan dari komoditas tanaman kelapa sawit yang melalui proses pensortiran, perontokan tandan buah, pemasakan serta pemerasan buah kelapa sawit. CPO adalah salah satu produk utama dengan kapasitas produksi terbanyak yang dapat dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit. Indonesia memiliki sumber daya alam yang besar, Indonesia menjadi pusat produksi perkebunan kelapa sawit dan menjadi pengeksportir CPO terbesar di dunia. [8]

Proses produksi CPO dimulai dari pemanenan tandan buah segar (TBS) yang matang. TBS kemudian menjalani proses sterilisasi dengan uap panas untuk mencegah aktivitas enzim lipase yang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas (FFA). Setelah sterilisasi, buah sawit dipisahkan dari tandannya, dilumatkan, lalu diperas menggunakan screw press untuk mengeluarkan minyak. Minyak kasar yang dihasilkan selanjutnya dipisahkan dari air dan kotoran menggunakan dekanter dan separator dalam proses klarifikasi. Minyak yang sudah relatif bersih ini kemudian disimpan dalam tangki pemanasan sebelum dikirim atau diproses lebih lanjut. Proses ini harus dilakukan dengan cepat dan efisien untuk menjaga mutu minyak yang dihasilkan.

Secara kimia, CPO terdiri dari trigliserida-trigliserida asam lemak (mempunyai kandungan terbanyak dalam minyak nabati, mencapai sekitar 95%-b), asam lemak bebas (Free Fatty Acid atau biasa disingkat dengan FFA), mono dan digliserida, serta beberapa komponen lain seperti phosphoglycerides, vitamin, mineral, atau sulfur. Selain itu, CPO juga mengandung kira-kira 1% komponen-komponen kecil berupa karotenoid, vitamin E (tokotrienol dan tokoferol), sterol, fosfolipid, glikolipid, terpenoid dan hidrokarbon alifatik serta pengotor lainnya. Komponen yang paling utama dari beberapa komponen di atas adalah vitamin E dan karotenoid dimana keduanya memiliki fungsi yang sangat

penting. Stabilitas oksidatif CPO cukup baik karena kandungan lemak jenuhnya yang tinggi. Meskipun demikian, mutu CPO dapat dengan mudah menurun jika tidak disimpan atau ditangani dengan baik, terutama karena kandungan air dan kotoran yang dapat memicu reaksi hidrolisis dan oksidasi. [9]

Penilaian mutu CPO didasarkan pada beberapa parameter utama, yaitu kadar FFA, kadar air (moisture content), dan kadar kotoran (impurities). Kadar FFA yang tinggi menandakan degradasi minyak akibat aktivitas enzimatik atau mikrobiologis, dan biasanya menunjukkan kualitas penyimpanan yang buruk. Air yang tersisa dalam minyak juga dapat mempercepat pembentukan FFA dan memicu pertumbuhan mikroorganisme. SNI 01-2901-2006 menjelaskan minyak sawit berkualitas standar mengandung tidak lebih dari 5% ALB. Jika kadar ALB dalam minyak kelapa sawit melebihi standar yang ditetapkan, kualitas minyak akan menurun secara signifikan. Kadar ALB yang tinggi dapat menyebabkan ketengikan, perubahan rasa, dan warna pada minyak, serta menurunkan nilai jual CPO, yang berpotensi mengakibatkan kerugian bagi perusahaan. [10]

Dalam praktiknya, CPO digunakan sebagai bahan baku utama berbagai produk, mulai dari minyak goreng, margarin, sabun, hingga bahan bakar nabati (biodiesel). Industri oleokimia juga banyak memanfaatkan CPO untuk memproduksi berbagai bahan kimia turunan seperti fatty acid, fatty alcohol, dan surfaktan. Nilai ekonomis CPO sangat tinggi karena selain penggunaannya yang luas, proses produksinya juga tergolong efisien dibandingkan dengan minyak nabati lainnya. Hal ini membuat kelapa sawit menjadi tanaman penghasil minyak yang paling produktif.

Namun demikian, produksi dan penggunaan CPO juga menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal mutu, keberlanjutan lingkungan, dan persepsi global terhadap dampaknya. Oleh karena itu, berbagai standar mutu diberlakukan untuk menjaga kualitas produk dan praktik industri yang ramah lingkungan. Di Indonesia, pengawasan mutu CPO diatur oleh Standar Nasional Indonesia (SNI), yang menetapkan batas maksimal FFA, moisture, dan impurity. Selain itu, sertifikasi seperti ISPO (Indonesian Sustainable Palm Oil) dan RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) juga semakin menjadi keharusan dalam rantai pasok global.

Dengan pengelolaan yang baik, CPO dapat terus menjadi andalan dalam pembangunan ekonomi berkelanjutan.

2.2 Konsep Penyimpanan CPO

Konsep utama dalam penyimpanan Crude Palm Oil (CPO) adalah menjaga kualitas minyak mentah agar tidak mengalami penurunan mutu sebelum didistribusikan atau diproses lebih lanjut. Penurunan mutu CPO terutama disebabkan oleh dua reaksi utama, yaitu hidrolisis dan oksidasi, yang keduanya dapat meningkatkan kadar Asam Lemak Bebas (ALB), kadar air, dan kadar kotoran. Kenaikan ALB adalah parameter kritis karena secara langsung mengurangi nilai jual CPO. Adapun konsep penyimpanan CPO dapat diuraikan sebagai berikut :

A. Penyimpanan CPO

Penyimpanan CPO (Crude Palm Oil) merupakan tahapan penting setelah proses pemurnian awal minyak sawit mentah. Tujuannya adalah untuk menjaga kualitas dan stabilitas kimia minyak sebelum dikirim atau diproses lebih lanjut. Dalam tahap ini, minyak disimpan dalam tangki penyimpanan yang dilengkapi sistem pemanasan (heating system) untuk mempertahankan suhu tertentu agar minyak tetap dalam fase cair dan tidak mengalami penggumpalan. Penyimpanan CPO adalah proses menampung minyak sawit mentah hasil ekstraksi sebelum dikirim atau diproses lebih lanjut. Konsep ini berpusat pada penggunaan **Tangki Timbun (Storage Tank)** yang dirancang khusus untuk mengendalikan parameter CPO seperti Asam Lemak Bebas (ALB), kadar air, dan kadar kotoran agar tetap di bawah batas standar.

B. Tujuan Penyimpanan CPO

Tujuan utama penyimpanan CPO adalah:

- a. Mencegah pembentukan kristal lemak akibat suhu rendah.
- b. Menghindari kenaikan kadar FFA (Free Fatty Acid) yang menyebabkan penurunan mutu.
- c. Menjaga stabilitas oksidatif agar tidak terjadi ketengikan (rancidity).
- d. Memastikan minyak tetap homogen saat akan dikirim atau diolah lebih lanjut.

C. Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Selama Penyimpanan

Beberapa faktor utama yang memengaruhi kualitas CPO selama penyimpanan meliputi:

- a. Suhu: Idealnya antara 40–60°C untuk menjaga viskositas dan mencegah pemisahan fraksi padat.
- b. Kadar air: Semakin tinggi kadar air, semakin cepat minyak mengalami hidrolisis yang meningkatkan FFA.
- c. Paparan udara (oksigen): Dapat mempercepat proses oksidasi yang menurunkan kualitas minyak.
- d. Lama penyimpanan: Semakin lama disimpan, potensi degradasi mutu semakin besar.

D. Peralatan dan Sistem Penyimpanan

Tangki penyimpanan CPO biasanya terbuat dari baja karbon dengan sistem:

- a. Heating coil atau steam tracing untuk menjaga suhu minyak.
- b. Ventilasi dan safety valve untuk mencegah tekanan berlebih.
- c. Level gauge dan termometer untuk memantau volume serta suhu.
- d. Sistem sirkulasi minyak untuk memastikan homogenitas suhu dan mencegah pengendapan.

E. Prinsip Dasar Proses Heating dalam Penyimpanan

Proses pemanasan (heating) dilakukan dengan media uap panas (steam) atau hot water circulation. Tujuannya menjaga suhu stabil agar minyak tidak membeku. Namun, pemanasan yang berlebihan dapat mempercepat oksidasi lipid, sehingga harus dikontrol dengan baik agar tidak mempengaruhi kadar FFA maupun warna minyak.

F. Kualitas CPO Selama Penyimpanan

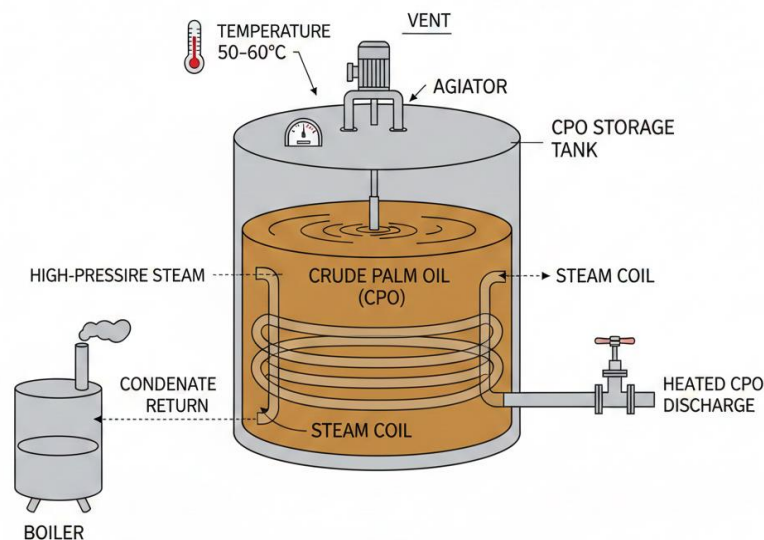
Parameter mutu yang perlu diperhatikan :

- a. FFA (Free Fatty Acid): meningkat seiring waktu dan suhu.
- b. Moisture & Impurities (M&I): dapat menyebabkan korosi dan degradasi.
- c. Warna (Color Lovibond): berubah akibat oksidasi.

- d. Densitas dan viskositas: dapat meningkat jika minyak mengalami pendinginan.

2.3 Proses Heating pada Penyimpanan CPO

Proses heating adalah proses pemanasan yang dilakukan pada minyak sawit mentah atau CPO (*Crude Palm Oil*) untuk menjaga minyak tetap dalam keadaan cair, memudahkan aliran, mengurangi kadar air, dan menjaga mutu selama proses pengolahan atau penyimpanan. Tujuan utama dilakukannya proses heating adalah untuk memastikan minyak tetap dalam bentuk cair agar mudah dialirkan atau dipompa, serta membantu dalam mengurangi kadar air yang terkandung dalam CPO. Kadar air yang tinggi dapat memicu reaksi hidrolisis dan mempercepat peningkatan kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*), yang merupakan salah satu indikator mutu CPO. Selain itu, pemanasan juga diperlukan dalam proses klarifikasi, yakni pemisahan kotoran dan air dari minyak, sehingga mutu CPO dapat ditingkatkan sebelum proses lanjutan seperti pemurnian atau penyimpanan.



Gambar 2.1 Proses Kerja Pemanasan pada Tangki CPO

Metode pemanasan yang umum digunakan dalam industri kelapa sawit adalah pemanasan tidak langsung atau *indirect heating*. Dalam metode ini, minyak dipanaskan menggunakan media perantara seperti uap panas (*steam*), yang dialirkan ke dalam koil pemanas di dalam tangki, sebagaimana dijelaskan pada (**Gambar 2.1**).

Tujuan dari penggunaan pemanasan tidak langsung adalah agar panas yang diberikan lebih stabil dan tidak merusak struktur kimia dari minyak. Selain itu, pemanasan dilakukan secara bertahap dengan sistem kontrol otomatis agar suhu tidak melebihi batas aman.

Suhu pemanasan yang ideal untuk menjaga mutu CPO selama penyimpanan berkisar antara 50 hingga 60 °C. Suhu ini dipilih karena cukup untuk menjaga viskositas minyak tetap rendah tanpa merusak senyawa penting di dalamnya seperti karoten dan tokoferol. Jika pemanasan dilakukan pada suhu yang terlalu tinggi, misalnya di atas 70 °C, maka akan berisiko merusak komponen bioaktif minyak, menyebabkan hilangnya warna khas oranye-merah pada CPO akibat degradasi karoten, serta berkurangnya kandungan antioksidan alami.

Sistem pemanasan harus dirancang dan dijalankan dengan standar operasional yang ketat agar tidak merusak mutu CPO selama proses berlangsung. Proses pemanasan dalam pengolahan dan penyimpanan CPO merupakan tahap krusial yang sangat memengaruhi mutu akhir minyak sawit. Bila dijalankan dengan benar, pemanasan mampu menjaga stabilitas fisik dan kimia CPO, menurunkan kadar air, serta memudahkan proses transportasi dan penyimpanan. Namun, jika tidak dikendalikan dengan baik, justru dapat menyebabkan degradasi senyawa aktif dan menurunkan kualitas produk secara signifikan. Oleh karena itu, heating harus dianggap sebagai proses yang bukan hanya teknis, tetapi juga strategis dalam menjamin mutu dan nilai ekonomi CPO.

2.4 Komponen dalam Proses Penyimpanan CPO

Komponen penyimpanan CPO (Crude Palm Oil) adalah elemen-elemen fisik dan sistem rekayasa yang membentuk keseluruhan fasilitas penyimpanan, yang dirancang untuk menjaga integritas struktural dan kualitas termal CPO. Adapun susunan komponen dalam proses penyimpanan CPO adalah sebagai berikut :

A. Komponen Utama Struktural: Tangki Timbun (*Storage Tank*)

Tangki timbun adalah jantung dari fasilitas penyimpanan CPO. Komponen ini berfokus pada **kekuatan material** dan **integritas struktural** untuk menahan beban fluida. Adapun bagian – bagian dari tangki timbun adalah sebagai berikut :

a. **Shell (Dinding Tangki)**

Dinding tangki, umumnya dibuat dari pelat **baja karbon** harus menahan **tekanan hidrostatik** maksimum CPO. Bentuk dari dinding tangki sendiri terlihat pada (**Gambar 2.2**). Tekanan ini terbesar di bagian bawah tangki. Oleh karena itu, tebal pelat dihitung secara berlapis (*shell plating design*), semakin ke bawah semakin tebal.



Gambar 2.2 Dinding dan Mainhole Tangki

b. **Pelat Dasar (Bottom Plate) dan Fondasi**

Pelat dasar berfungsi sebagai penunpu beban vertikal total. Desain kritisnya adalah:

1. **Kemiringan (Sloping Bottom):** Pelat dasar tidak datar, melainkan dibuat miring (umumnya **1:100**) menuju titik pengurasan. Kemiringan ini memanfaatkan gravitasi untuk memisahkan dan mengumpulkan air dan kotoran (*sludge*), yang densitasnya lebih tinggi daripada CPO.
2. **Fondasi:** Fondasi (bisa berupa fondasi dangkal atau tiang pancang) harus mampu menyerap dan mendistribusikan beban statis total tangki CPO (yang dapat mencapai ribuan ton).

c. **Atap (Roof) dan Akses**

Atap tangki CPO biasanya adalah jenis **Atap Kerucut Tetap (Fixed Cone Roof)**. Selain melindungi dari kontaminasi atmosfer, atap harus dirancang untuk menahan beban mati (*dead load*), beban angin, dan tekanan/vakum internal yang

kecil. Tangki dilengkapi dengan **Manhole** untuk akses inspeksi dan **Nozzle** untuk koneksi pipa utama dan sistem pendukung.

B. Komponen Sistem Termal (Pemanasan dan Isolasi)

Komponen ini krusial untuk menjaga CPO tetap dalam fase cair (di atas 24°C – 30°C), biasanya pada suhu operasi 45°C – 55°C . Adapun bagian – bagian dari komponen sistem termal pada pemanasan CPO adalah sebagai berikut :

a. Koil Pemanas (*Heating Coils*)

Koil pemanas adalah penukar panas (*heat exchanger*) internal yang paling umum digunakan, bentuk dari koil pemanas terlihat pada (**Gambar 2.3 dan 2.4**). Koil dialiri **steam** (uap panas) bertekanan rendah, yang merupakan media pemanas paling efisien di Pabrik Kelapa Sawit (PKS).



Gambar 2.3 Pipa Heating Coil



Gambar 2.4 Inlet dan Outlet Heating Coil

b. Isolasi Termal (*Insulation*)

Isolasi (*rockwool* atau *fiberglass*) adalah pertahanan utama melawan **kehilangan panas (Qloss)** ke lingkungan. Dalam perhitungan termodinamika, Qloss (melalui konduksi dan konveksi) harus dimasukkan dalam kebutuhan daya pemanas. Semakin tebal isolasi, semakin efisien tangki tersebut, yang berdampak langsung pada biaya operasional boiler.

c. Pengendalian Otomatis

Sensor suhu (Thermowell) dipasang untuk memonitor suhu CPO. Sensor suhu atau Thermowell dipasang menembus dinding tangki timbun CPO hingga mencapai posisi yang representatif di dalam massa minyak untuk mendapatkan pembacaan suhu yang akurat. Pemasangan ini sangat krusial untuk memastikan bahwa suhu CPO dipertahankan guna mencegah pembekuan parsial minyak yang dapat menghambat pemompaan. Data ini dikirim ke sistem kontrol yang mengatur bukaan katup steam untuk menjaga suhu di titik setel (*set point*). Penggunaan Steam Trap memastikan hanya kondensat (air) yang keluar dari koil, memaksimalkan efisiensi energi uap.

C. Komponen Operasi dan Mutu

Komponen ini mendukung fungsi pemindahan CPO dan upaya pemeliharaan kualitas. Adapun komponen – komponen tersebut adalah :

- a. **Nozzle**, yaitu titik sambungan untuk jalur pipa *inlet*, *outlet*, *drain*, dan *steam*. Pompa dan Pemipaan Mentransfer CPO masuk dan keluar tangki. Pemilihan spesifikasi pompa (daya dan *head*) berdasarkan viskositas CPO dan analisis kehilangan tekanan pada pipa.
- b. **Manhole** yaitu akses masuk untuk inspeksi, pembersihan, dan perawatan tangki. Dirancang sesuai standar keselamatan dan aksesibilitas.
- c. **Agitator (Pengaduk) Opsional**, berfungsi untuk homogenisasi suhu dan mencegah sedimentasi *sludge*.
- d. **Drain Valve** yaitu katup pembuangan yang terletak di titik terendah tangki. Komponen ini berkaitan langsung dengan aliran CPO dan upaya aktif untuk mempertahankan parameter mutu.

D. Pompa dan Pemipaan

Pemilihan **pompa** harus dilakukan dengan cermat, mempertimbangkan sifat non-Newtonian CPO pada suhu operasi. Analisis **kehilangan tekanan** (*pressure loss*) di sepanjang jalur pipa, termasuk *fitting* dan katup, sangat penting untuk menentukan daya (*horsepower*) dan *head* pompa yang dibutuhkan.



Gambar 2.5 Pompa dan Pemipaan

E. Agitator (Pengaduk)

Agitator (Pengaduk) menciptakan aliran fluida di dalam tangki untuk mencapai **homogenitas termal** (menghilangkan hot spot) dan **mencegah sedimentasi** air/kotoran. Dengan mencegah kontak antara CPO dan endapan air/kotoran, *agitator* secara efektif **memperlambat laju kenaikan ALB**, yang merupakan indikator keberhasilan penyimpanan. Desain *agitator* melibatkan perhitungan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan *impeller* pada viskositas CPO.



Gambar 2.6 Agitator (Pengaduk)

F. Sistem Pengurasan (*Drainage*)

Efisiensi sistem *drainage* sangat dipengaruhi oleh desain dasar miring. **Drain Valve** yang terpasang di titik terendah tangki memungkinkan pengurasan terpisah antara CPO dan M&I, meminimalkan jumlah air reaktan yang tersisa di dalam tangki.



Gambar 2.7 Drain Valve

2.5 Proses Heating dan Dampaknya terhadap Stabilitas CPO

Proses heating atau pemanasan merupakan salah satu tahapan penting dalam penanganan dan penyimpanan Crude Palm Oil (CPO). Proses ini dilakukan untuk menjaga CPO tetap dalam bentuk cair pada suhu ruang atau suhu proses, karena minyak sawit cenderung membeku pada suhu di bawah 35°C. Dalam kondisi penyimpanan skala industri, pemanasan dilakukan menggunakan sistem pemanas seperti *coil heater* dengan media uap panas (*steam*) atau *thermal oil*, agar suhu dalam tangki penyimpanan terjaga di kisaran optimal, biasanya antara 50–60°C.

Tujuan utama dari proses heating adalah untuk menurunkan viskositas CPO agar mudah dipindahkan melalui pipa dan diproses lebih lanjut. Selain itu, suhu hangat membantu mencegah pembentukan endapan padat seperti stearin serta memperlancar pengeluaran minyak dari tangki penyimpanan. Dalam proses distribusi, pemanasan juga menghindari terjadinya penggumpalan yang dapat menyumbat sistem perpipaan dan merusak efisiensi operasional.

Namun demikian, proses heating juga memiliki dampak terhadap stabilitas kimia dan mutu CPO, tergantung dari cara dan durasi pemanasannya. Jika pemanasan dilakukan secara berlebihan (*overheating*) atau dengan suhu yang terlalu tinggi (di atas 70°C), senyawa bioaktif seperti karoten, tokoferol, dan

antioksidan alami lainnya bisa terdegradasi. Hal ini menyebabkan CPO menjadi lebih rentan terhadap oksidasi, yang pada akhirnya memicu peningkatan kadar asam lemak bebas (FFA) dan peroksida-dua indikator utama kerusakan minyak.

Selain itu, pemanasan yang berlangsung terus-menerus tanpa kontrol suhu yang baik juga mempercepat reaksi autooksidasi, yaitu proses kimia di mana lemak bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa peroksida. Reaksi ini menghasilkan bau tengik dan perubahan warna minyak menjadi lebih gelap. Oleh karena itu, dalam praktik industri, penggunaan sistem pengatur suhu otomatis dan sensor suhu digital sangat diperlukan untuk menjaga stabilitas suhu yang ideal selama proses heating.

Dampak lain dari pemanasan yang tidak tepat adalah meningkatnya *degradasi gliserida*, sehingga menghasilkan lebih banyak FFA. FFA yang tinggi tidak hanya menurunkan mutu CPO secara kimia, tetapi juga berdampak terhadap proses hilir seperti pemurnian dan fraksinasi. Minyak dengan FFA tinggi membutuhkan lebih banyak bahan kimia untuk proses netralisasi, yang berarti biaya produksi meningkat dan potensi kehilangan minyak juga lebih besar.

Untuk menghindari dampak negatif dari heating, perusahaan pengolahan CPO umumnya menerapkan prosedur standar seperti pemanasan bertahap (*gradual heating*), monitoring suhu secara berkala, serta tidak membiarkan minyak dalam kondisi panas terlalu lama saat tidak sedang dalam proses pemindahan atau pengolahan. Strategi ini membantu menjaga stabilitas fisik, kimia, dan biologis CPO selama masa penyimpanan dan distribusi.

Dengan pemanasan yang terkontrol, CPO tetap dalam kondisi stabil—tidak mengalami peningkatan FFA secara signifikan, tidak mudah tengik, dan tetap memenuhi standar mutu nasional seperti SNI 2904:2016. Oleh karena itu, proses heating tidak hanya penting untuk menjaga fluiditas minyak, tetapi juga sangat krusial untuk memastikan mutu dan nilai ekonomis produk CPO hingga sampai ke konsumen akhir.

2.6 Efektivitas Penyimpanan CPO

Efektivitas penyimpanan *Crude Palm Oil* (CPO) adalah tolok ukur seberapa baik sistem penyimpanan mampu mempertahankan kualitas dan kuantitas CPO

dalam jangka waktu tertentu dengan biaya operasional yang minimal. Efektivitas ini diukur berdasarkan keberhasilan mengendalikan faktor-faktor yang menyebabkan degradasi termokimia. Efektivitas penyimpanan CPO, dapat dilihat dari beberapa parameter, yaitu :

A. Efektivitas Ditinjau dari Kadar FFA (*Free Fatty Acid*)

Kadar **FFA** atau **Asam Lemak Bebas (ALB)** adalah parameter paling kritis yang menentukan efektivitas penyimpanan CPO. Peningkatan ALB menunjukkan kegagalan dalam pengendalian mutu. Adapun mekanisme dan indikator efektivitas kadar FFA adalah sebagai berikut :

a. Mekanisme Kenaikan FFA

Kenaikan FFA disebabkan oleh reaksi hidrolisis, di mana trigliserida (komponen utama CPO) bereaksi dengan air (H₂O) menjadi FFA dan gliserol. Reaksi ini dipercepat oleh suhu yang tinggi yaitu laju reaksi kimia meningkat secara eksponensial seiring kenaikan suhu.

b. Indikator Efektivitas

Penyimpanan CPO dianggap efektif jika laju kenaikan ALB dijaga serendah mungkin, idealnya di bawah 0,05%/hari atau, secara umum, di bawah 0,10%/hari. Mutu CPO yang disimpan harus tetap di bawah batas maksimal yang ditetapkan oleh konsumen atau standar nasional.

B. Efektivitas Ditinjau dari Kadar Air

Kadar air adalah pemicu utama hidrolisis, sehingga pengendaliannya menjadi indikator langsung efektivitas penyimpanan. Adapun mekanisme dan indikator efektivitas kadar air adalah sebagai berikut :

a. Mekanisme Peran Air

Air dapat berasal dari sisa proses pengolahan, terutama dari stasiun klarifikasi atau kondensasi uap air di dalam tangki (*sweating*). Air cenderung mengendap di dasar tangki bersama kotoran (*sludge*) karena perbedaan densitas.

b. Indikator Efektivitas

Penyimpanan dianggap efektif jika kadar Air Stabil dan Minimal. Kadar air di dalam CPO harus dijaga di bawah batas standar (maksimal 0,5% menurut SNI 01-2901-2006). Drainage yang Efisien: Efektivitas tertinggi dicapai melalui desain dasar tangki miring (*sloping bottom*) dan prosedur pengurasan (*drainage*) yang disiplin untuk membuang lapisan air dan *sludge* yang terkumpul. Hal ini memutuskan kontak antara air dan CPO.

C. Efektivitas Ditinjau dari Warna

Warna CPO merupakan parameter kualitas penting yang memengaruhi proses pemurnian minyak mentah. Warna CPO yang baik biasanya berkisar antara merah-oranye. Adapun mekanisme dan indikator efektivitas kadar warna adalah sebagai berikut :

a. Mekanisme Perubahan Warna

Perubahan warna menjadi gelap selama penyimpanan disebabkan oleh reaksi oksidasi dan dekomposisi pigmen alami (karoten). Kontak dengan oksigen di ruang kepala tangki (*headspace*) dipercepat oleh suhu tinggi, menyebabkan perubahan kimia pada pigmen. Area di dalam tangki dengan suhu yang terlalu tinggi akibat distribusi panas yang tidak merata (kegagalan sistem heating coil atau isolasi) dapat menyebabkan degradasi pigmen lokal.

b. Indikator Efektivitas

Penyimpanan dianggap efektif jika nilai Lovibond stabil. Pengukuran warna dengan metode Nilai Lovibond (atau metode absorbansi spektrofotometri pada panjang gelombang tertentu) menunjukkan perubahan minimal dari nilai awal. Penyimpanan dianggap efektif jika nilai DOBI (*Deterioration of Bleachability Index*) stabil, meskipun bukan pengukuran warna langsung, DOBI menunjukkan kemampuan CPO untuk diputihkan (warna dihilangkan) saat pemurnian. Degradasi selama penyimpanan menurunkan nilai DOBI, yang berarti pemurnian menjadi lebih sulit.

D. Efektivitas Ditinjau dari Viskositas

Viskositas memengaruhi efisiensi operasional pemindahan CPO, meskipun kurang sensitif terhadap degradasi kimia dibandingkan FFA. Adapun mekanisme dan indikator efektivitas perubahan viskositas adalah sebagai berikut :

a. Mekanisme Perubahan Viskositas

Viskositas CPO sangat dipengaruhi oleh suhu dan keberadaan padatan atau kristal (jika suhu terlalu rendah). Viskositas menurun secara signifikan seiring kenaikan suhu. Penyimpanan yang efektif harus menjaga viskositas cukup rendah untuk memfasilitasi pemompaan. Jika suhu turun di bawah titik leleh, CPO akan mengkristal, menyebabkan peningkatan viskositas mendadak dan menghambat aliran dalam pipa.

b. Indikator Efektivitas

Penyimpanan dianggap efektif jika viskositas CPO pada suhu 45°C–55°C harus tetap dalam kisaran yang direncanakan untuk efisiensi pompa. Tidak adanya endapan kental (*sludge*) yang dapat menyumbat *nozzle* atau pipa, menunjukkan efektivitas pemisahan kotoran dan kontrol suhu.

2.7 Pengaruh Suhu, Kadar Air, dan Lama Penyimpanan terhadap Kadar FFA (Free Fatty Acid) dalam CPO

Kualitas Crude Palm Oil (CPO) sangat dipengaruhi oleh kandungan asam lemak bebas (FFA). FFA adalah hasil dari proses hidrolisis trigliserida akibat pengaruh air dan enzim lipase. Meningkatnya kadar FFA menjadi indikator utama penurunan mutu minyak. Tiga faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan FFA selama penyimpanan adalah suhu, kadar air, dan lama waktu penyimpanan.

Suhu penyimpanan memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan minyak sawit. Suhu tinggi (>60°C) dalam jangka waktu lama dapat mempercepat reaksi kimia, termasuk hidrolisis dan oksidasi. Meskipun pemanasan (heating) dibutuhkan untuk menjaga viskositas dan mencegah pembekuan CPO, suhu yang terlalu tinggi atau tidak stabil justru mempercepat peningkatan FFA. Pemanasan berlebih juga

dapat merusak senyawa antioksidan alami dalam CPO seperti karoten dan tokoferol yang sebenarnya membantu menstabilkan minyak dari kerusakan oksidatif.

Kadar air dalam CPO merupakan pemicu utama reaksi hidrolisis. Semakin tinggi kadar air, semakin aktif enzim lipase yang dapat memecah trigliserida menjadi FFA dan gliserol. Oleh karena itu, standar mutu CPO seperti dalam SNI 2904:2016 menetapkan bahwa kadar air maksimal dalam CPO adalah 0,3%. Kadar air yang melebihi ambang ini akan mempercepat peningkatan FFA selama penyimpanan, terutama dalam kondisi suhu yang mendukung aktivitas mikroorganisme.

Lama penyimpanan juga menjadi faktor penting. Semakin lama CPO disimpan, semakin besar kemungkinan terjadinya kerusakan kimia dan biologis, terutama jika penyimpanan dilakukan dalam kondisi yang tidak ideal. Penelitian menunjukkan bahwa kadar FFA dalam CPO dapat meningkat secara signifikan setelah 30 hari penyimpanan jika tidak dikendalikan suhunya atau jika kadar air tinggi. Kadar air berlebih dan penyimpanan lama dapat mempercepat degradasi mutu CPO secara drastis.

2.8 Nilai Kalor yang Dibutuhkan pada Proses Heating Penyimpanan CPO

Pemanasan CPO di *storage tank* (tangki penyimpanan) merupakan proses krusial untuk menjaga mutu dan kelancaran proses pengolahan selanjutnya. Suhu penyimpanan CPO harus dijaga pada rentang optimum, umumnya antara 45°C hingga 55°C atau sekitar 50°C. Tujuan utama menjaga suhu ini adalah untuk mempertahankan CPO dalam fase cair (*liquid*), sehingga viskositasnya tetap rendah, mempermudah pemindahan (*pumping*) ke proses pengolahan selanjutnya. Pemanasan juga berfungsi untuk menonaktifkan enzim lipase yang menyebabkan hidrolisis, sehingga kandungan Asam Lemak Bebas (ALB) dapat terkontrol dan mutu CPO tetap terjaga. Ketika suhu lingkungan atau suhu tangki turun, CPO akan membeku atau mengkristal. Proses pemanasan (*heating*) dengan medium uap (*steam*) atau air panas bertujuan untuk mencegah kristalisasi, terutama di area pipa dan dasar tangki.

Nilai kalor yang dibutuhkan (Q) untuk proses *heating* CPO di dalam tangki dihitung berdasarkan prinsip perpindahan panas sensibel (perubahan suhu tanpa

perubahan fase) untuk menaikkan suhu massa CPO dari suhu awal (T1) ke suhu target (T2).

Kalor (*Heat*) yang dibutuhkan (Q) dapat dihitung menggunakan persamaan dasar kalorimetri :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- Q : Nilai Kalor yang Dibutuhkan (Joule, J)
- m : Massa CPO yang akan dipanaskan (Kilogram, kg)
- c : Panas Jenis CPO (*Specific Heat*) (J/kg°C atau kcal/kg°C)
- ΔT : Perubahan Suhu (T2–T1) (C° atau K), di mana:
- T2 : Suhu target CPO (misalnya 50°C)
- T1 : Suhu awal CPO (misalnya suhu ruang atau suhu saat CPO diterima)

2.9 Nilai Kebutuhan Uap pada Proses Heating Penyimpanan CPO

Analisis kebutuhan uap merupakan perhitungan mendasar dalam desain dan pengoperasian sistem pemanas di pabrik kelapa sawit. Tujuannya adalah menentukan secara akurat jumlah uap yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sejumlah CPO dari suhu awal ke suhu target dalam periode waktu yang ditentukan, memastikan proses berjalan efisien tanpa kekurangan atau kelebihan suplai energi. Proses ini melibatkan penerapan prinsip neraca energi (kesetimbangan panas).

Setelah panas yang dibutuhkan CPO Q_{CPO} diketahui, selanjutnya dihitung laju massa uap yang harus berkondensasi untuk menyediakan energi tersebut. Uap biasanya digunakan pada kondisi uap jenuh (*saturated steam*) karena melepaskan sejumlah besar energi melalui panas laten saat ia berubah fase dari gas menjadi cair.

Laju alir massa uap dihitung sebagai:

$$\dot{m}_{uap} = \frac{Q_{CPO}}{\Delta H_{uap}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Di mana:

Q_{CPO} : **Nilai Kalor** yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu CPO (kJ / Joule / kkal)

\dot{m}_{uap} : **Laju alir massa uap** yang dibutuhkan (kg/s atau lb/jam).

ΔH_{uap} : **Perubahan Entalpi Uap saat mentransferkan panas.** ($h_g - h_{fg}$) (Entalpi Uap Jenuh – Entalpi Penguapan). Nilai ini dapat ditemukan pada **tabel uap** (steam table) dengan mengetahui nilai temperatur steam yang disuplai. (kJ/kg)

2.10 Nilai Efisiensi yang Didapatkan pada Proses Heating Penyimpanan CPO

Bertujuan untuk menghitung efisiensi perpindahan panas dalam tangki heating CPO

Rumus LMTD untuk pemanasan fluida dalam heat exchanger :

$$\Delta T_{log} = \frac{(T_{hot,out} - T_{cold,in}) - (T_{hot,in} - T_{cold,out})}{\ln \left(\frac{T_{hot,out} - T_{cold,in}}{T_{hot,in} - T_{cold,out}} \right)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

$T_{hot,in}$: Suhu steam masuk (°C)

$T_{hot,out}$: Suhu steam keluar (°C)

$T_{cold,in}$: Suhu awal CPO (°C)

$T_{cold,out}$: Suhu akhir CPO (°C)