

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Sektor industri memiliki peranan penting dalam pembangunan ekonomi nasional. Selain dapat meningkatkan pendapatan negara, sektor industri juga dapat memberikan peluang usaha yang memberikan kontribusi positif dalam upaya pemerataan kesejahteraan masyarakat (Nuraeni, 2018). Hal tersebut mendorong adanya proses industrialisasi. Industrialisasi merupakan suatu proses interaksi antara pengembangan teknologi, inovasi, spesialisasi, dan perdagangan antar negara yang pada akhirnya sejalan dengan meningkatnya pendapatan masyarakat mendorong perubahan struktur ekonomi (Hilman & Ester, 2019).

Industri merupakan cabang kegiatan ekonomi, sebuah perusahaan atau badan usaha sejenisnya dimana tempat seseorang bekerja. Kegiatan ini diklasifikasikan berdasarkan Klasifikasi Lapangan Usaha Indonesia / KLUI. Badan Pusat Statistik mengelompokkan industri dalam empat kategori berdasar jumlah tenaga kerja yaitu: (1) industri rumah tangga yang memiliki 1-4 pekerja, (2) industri kecil yang memiliki 5-19 pekerja, (3) industri sedang yang memiliki 20-299 pekerja, dan (4) industri besar yang memiliki 100 atau lebih pekerja (Badan Pusat Statistik, 2020).

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas kunci bagi ekonomi Indonesia. Ekspor produk kelapa sawit merupakan sumber devisa yang penting dan industri pengolahan kelapa sawit (PKS) telah menyediakan kesempatan kerja bagi jutaan rakyat Indonesia. Peningkatan dan keberlanjutan produksi kelapa sawit sangat berkaitan dengan pertumbuhan daerah-daerah terpencil, menurunnya kemiskinan, dan meningkatnya standar hidup penduduk pedesaan (PASPI, 2018).

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan pabrik yang mengolah kelapa sawit dengan metode dan aturan tertentu hingga menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (PKO). Dalam proses pengolahan tersebut, perusahaan selalu berupaya untuk mengoptimalkan jumlah rendemen CPO dan PKO. Salah satu sistem manajemen yang diterapkan untuk mendapatkan jumlah rendemen yang optimal

adalah menekan terjadinya kehilangan minyak (*oil losses*) pada CPO dan kehilangan kernel (*losses* PKO) selama proses produksi.

Pengolahan kelapa sawit merupakan proses untuk memperoleh minyak dari kernel dan buah kelapa sawit, melalui proses perebusan, pemipilan, pelumatan, pengempaan, pemisahan, pengeringan, penimbunan. Proses pengempaan menghasilkan minyak kasar dengan kadar 50% minyak, 42% Air dan 8% Zat padat. Zat padat tersebut antara lain terdiri dari serat, pasir dan pecahan biji sawit. Oleh karena itu minyak tersebut masih perlu dimurnikan lagi di stasiun klarifikasi (Sibuea, 2014).

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan unggulan dan utama Indonesia. Tanaman yang produk utamanya terdiri dari minyak sawit dan inti sawit ini memiliki nilai ekonomis tinggi dan menjadi salah satu penyumbang devisa negara yang terbesar dibandingkan dengan komoditas perkebunan lainnya. Hingga saat ini kelapa sawit telah diusahakan dalam bentuk perkebunan dan pabrik pengolahan kelapa sawit hingga menjadi minyak dan produk turunannya. Tanaman kelapa sawit menghasilkan Tandan Buah Sawit (TBS) yang mengandung minyak sawit 25% dan inti sawit 7%. Minyak kelapa sawit di dalam tandan saat proses pengolahan mudah mengalami perubahan kimia dan fisika, sehingga perlu segera diolah. Tandan harus mendapat perlakuan fisika dan mekanik di dalam pabrik sehingga diperoleh minyak dan inti (Bary, 2013).

Stasiun pemurnian yaitu stasiun pengolahan di PKS yang bertujuan untuk melakukan pemurnian minyak kelapa sawit dari kotoran-kotoran seperti padatan, lumpur, dan air. Tujuan pemurnian agar minyak kasar yang diperoleh dari hasil pengempaan perlu dibersihkan dari kotoran, baik yang berupa padatan (*solid*), lumpur (*sludge*), maupun air. Tujuan dari pembersihan/pemurnian minyak kasar yaitu agar diperoleh minyak dengan kualitas sebaik mungkin dan dapat dipasarkan dengan harga yang layak. Ada tiga metode yang dilakukan dalam pemurnian minyak kasar di PKS, yaitu metode pengendapan, metode pemusingan, dan metode pemisahan biologis.

Sludge Separator merupakan suatu alat yang telah di desain secara khusus untuk mengutip minyak (*crude oil*) yang masih terkandung dalam *sludge*. *Sludge Separator* berfungsi untuk memisahkan minyak dari *sludge* secara mekanis dengan

memanfaatkan prinsip kerja sentrifugal dan perbedaan berat jenis antara minyak dengan *sludge*. Dalam cairan minyak terdapat dalam beberapa fase yang sulit dipisahkan dengan satu cara, maka dilakukan pemisahan fasa minyak, fasa NOS, dan fasa air dengan beberapa tahapan. Pemisahan minyak dari fraksi cairan lainnya yang dilakukan dengan berdasarkan prinsip filtrasi, pengendapan, penguapan, sentrifugasi dan sistem pemisahan lainnya. Tujuan dari proses *sludge separator* adalah memisahkan minyak dari air dan kotoran (Halim, 2011).

Pada proses pemurnian, minyak kasar yang berasal dari *Crude Oil Tank* (COT) kemudian dipompakan ke *Continious Settling Tank* (CST), diendapkan dengan cara pemanasan pada kondisi suhu sebesar 90^0 - 96^0 C dan waktu tinggal selama 6 jam. Pemanasan dilakukan untuk memisahkan minyak dengan *sludge tank*. Selanjutnya pada proses (*purifer*) dan proses pemusingan (sentrifugasi). Proses pemurnian minyak yang berasal dari *oil tank* dilakukan pemurnian atau pemisahan air dan kotoran yang masih ada dalam minyak. Sedangkan proses pemusingan, dimana lumpur padat (*sludge*) yang berasal dari *sludge tank* dilakukan pemisahan dengan maksud memisahkan minyak dari *sludge* berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Terakhir merupakan proses pengeringan, proses ini merupakan tahapan akhir Pada unit klarifikasi, dimana kandungan air yang masih terdapat pada minyak dihilangkan dengan cara penguapan hampa pada *vacum dryer* sebelum masuk ke tangki timbun (*storage tank*).

Kehilangan minyak pada limbah cair di *sludge separator* tidak dapat dihindari, jika kehilangan minyak melebihi norma yang telah ditetapkan akan memberikan potensi kerugian. Oleh sebab itu, sangat penting bagi suatu perusahaan mengetahui potensi kerugian ekonomi dari kehilangan minyak tersebut agar perusahaan mengetahui angka kerugian ekonomi dengan jelas.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan penelitian berjudul: **“Potensi Kerugian Ekonomi Akibat Kehilangan Minyak Sawit Pada Limbah Cair Dari Unit *Sludge Separator* Di PTPN IV Kebun Adolina, Perbaungan”**.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa total rata rata kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *sludge separator* di PTPN IV Kebun Adolina, Perbaungan ?
2. Berapa besar kerugian ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *sludge separator* di PTPN IV Kebun Adolina, Perbaungan ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui berapa total rata-rata kehilangan minyak dari unit *sludge separator* di PTPN IV Kebun Adolina, Perbaungan.
2. Mengetahui berapa potensi kerugian ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *sludge separator* di PTPN IV Kebun Adolina, Perbaungan.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi penulis manfaat penulisan tugas akhir ini adalah agar penulis dapat memahami proses pengolahan dan perhitungan kerugian ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair di *sludge separator*.
2. Bagi perusahaan melalui penelitian ini, diharapkan PTPN IV Kebun Adolina, Perbaungan dapat mengetahui kinerja unit *sludge separator*.
3. Bagi pembaca penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pengetahuan pembaca tentang proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO.

1.5. Batasan Masalah

Setiap mengambil keputusan akan selalu berhadapan dengan pilihan yang sangat banyak, yang dipengaruhi dari faktor eksternal maupun internal keputusan itu sendiri. Salah satu yang paling menyulitkan dalam mengambil keputusan adalah ketidakpastian. Hal ini dapat diketahui dengan pasti di masa akan mendatang.

Dalam penelitian ini, peneliti membatasi masalah penentuan potensi kerugian ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *Sludge Separator* dengan :

1. Studi ini tidak membahas secara mendalam hal-hal yang bersifat teknik pengolahan kelapa sawit karena solusi akhir yang diperoleh adalah perhitungan ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *sludge separator* pada bulan September- November 2022.
2. Studi ini hanya membahas proses penentuan perhitungan ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *sludge separator*.

1.6. Sistematika Penulisan Skripsi

Untuk menggambarkan secara garis besar batas dan luasnya penelitian, maka berikut ini diberikan suatu gambaran ringkas tentang sistematika penulisan. Adapun sistematika penulisan skripsi adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang beberapa teori mengenai pabrik kelapa sawit dan proses pengolahannya serta biaya ekonomi akibat kerugian minyak pada limbah cair dari unit *Sludge Separator*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari bagaimana cara yang akan digunakan dalam memecahkan masalah yang ada dalam penelitian berupa langkah-langkah yang terdiri dari jenis penelitian, variabel penelitian, data dan sumber data, teknik pengumpulan data, teknik pengolahan data serta teknik analisis data.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini membahas tentang pengumpulan data yang diperoleh dan yang diperlukan dalam pemecahan masalah serta pembahasan tentang hasil-hasil analisa dari data yang diperoleh di tempat penelitian.

BAB V ANALISA DAN EVALUASI

Pada bab ini menguraikan tentang analisa dan evaluasi tentang penentuan potensi kerugian ekonomi akibat kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *Sludge Separator*.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab terakhir ini dibahas tentang kesimpulan-kesimpulan yang merupakan pernyataan singkat dan tepat yang dijabarkan dari hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) adalah tumbuhan industri penting penghasil minyak goreng, minyak industri maupun bahan bakar (*biodiesel*). Buah sawit mempunyai warna bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung bibit yang digunakan. Dalam dunia botani, semua tumbuhan diklasifikasikan guna memudahkan dalam mengidentifikasi secara ilmiah. Tanaman sawit diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanaman Buah Kelapa Sawit

Klasifikasi	Nama lain
Subdivisi	<i>Pteropsida</i>
Kelas	<i>Angiospermae</i>
Subkelas	<i>Monocotyledoneae</i>
Divisi	<i>Tracheophyta</i>
Ordo	<i>Palmales</i>
Famili	<i>Arecaceae</i>
Subfamili	<i>Cocoideae</i>
Genus	<i>Elaeis</i>
Spesies	<i>E. guineensis</i> <i>E. oleifera</i> <i>E. odora</i>

Sumber : (Sibuea, 2014)

2.1.1. Minyak Kelapa Sawit

Salah satu dari beberapa tanaman golongan palm yang dapat menghasilkan minyak adalah kelapa sawit (*Elaeis Guinensis Jack*). Minyak kelapa sawit dapat dihasilkan dari inti kelapa sawit yang dinamakan minyak inti kelapa sawit (*Palm Kernel Oil*) dan minyak mentah dari daging buah (*Crude Palm Oil*). Sifat fisika dan kimia minyak kelapa sawit meliputi warna, bau, berat jenis, titik cair dan sebagainya. Adapun beberapa penjelasan mengenai sifat fisika dan kimia kelapa sawit sebagai berikut :

1. Warna minyak

Warna minyak ditentukan oleh adanya pigmen yang masih tersisa setelah proses pemucatan, karena asam-asam lemak dan gliserida tidak berwarna. Warna orange atau warna kuning disebabkan adanya pigmen *karotene* yang larut dalam minyak.

2. Bau dan *Flavour*

Bau dan *Flavour* dalam minyak terdapat secara alami, juga terjadi akibat adanya asam-asam lemak berantai pendek akibat kerusakan minyak. Sedangkan bau khas minyak kelapa sawit ditimbulkan oleh persenyawaan *beta ionone*.

3. Berat Jenis

Berat jenis minyak kelapa sawit pada suhu kamar adalah 0,9.

4. Titik Cair

Titik cair minyak kelapa sawit berada dalam nilai kisaran suhu karena minyak kelapa sawit mengandung beberapa macam asam lemak yang mempunyai titik cair yang berbeda-beda.

2.1.2. Proses Pengolahan Minyak Kelapa Sawit

Pada dasarnya untuk memperoleh minyak kelapa sawit (CPO) dari pabrik kelapa sawit, maka PKS PT. Perkebunan IV Adolina melakukan beberapa proses dimana pengolahan tandan buah segar di pabrik bertujuan untuk memperoleh minyak sawit yang bermutu baik. Proses pengolahannya berlangsung cukup panjang dan memerlukan pengendalian yang cukup cermat, dimulai dari pengangkutan TBS ke stasiun penerimaan buah hingga klarifikasi minyak dan pengolahan biji. Adapun tahap-tahap pengolahan TBS sampai dihasilkan minyak akan diuraikan lebih lanjut berikut ini.

1. Jembatan Timbang

Penimbangan dilakukan dua kali untuk setiap angkutan TBS yang masuk ke pabrik, yaitu pada saat masuk (berat truk dan TBS) serta pada saat keluar (berat truk). Dari selisih timbangan saat truk masuk dan keluar, diperoleh berat bersih TBS yang masuk ke pabrik. Umumnya, jembatan timbang yang digunakan PKS berkapasitas 30-40 ton.

Jembatan timbang tersebut dioperasikan secara mekanis maupun elektronis. Truk yang keluar-masuk ke jembatan timbang harus berjalan perlahan-lahan sebab perangkat elektronik dari jembatan timbang sangat sensitif terhadap beban kejut. Pada saat penimbangan, posisi truk harus berada ditengah agar beban yang di pikul merata.(Pahan,2012)

2. Loading Ramp

TBS yang telah ditimbang di jembatan timbang selanjutnya di bongkar di *Loading Ramp* dengan menuang (*dump*) Kotoran yang jatuh melalui kisi-kisi ditampung oleh *dirt conveyor* sehingga memudahkan dalam penampungannya. Loading Ramp dilengkapi pintu-pintu keluaran yang digerakkan secara hidrolis sehingga memudahkan dalam pengisian TBS kedalam lori untuk proses. (Pahan, 2012)

Loading Ramp merupakan suatu bangunan dengan lantai berupa kisikisi pelat besi berjarak 10 cm dengan kemiringan 45°. Kisi-kisi tersebut berfungsi untuk memisahkan kotoran berupa pasir, kerikil, dan sampah yang terikut dalam TBS. Selanjutnya setiap lori dapat dimuat dengan 2,50- 2,75 ton TBS (lori kecil) dan 4,50 ton TBS (lori besar).

3. Proses Perebusan

Proses Perebusan merupakan proses pengolahan awal sebelum buah kelapa sawit diolah menjadi minyak kelapa sawit dan inti sawit. Dalam proses perebusan tandan buah segar dipanaskan dengan uap pada temperatur sekitar 135⁰C-140⁰C dan tekanan 2,8-3,0 kg/cm³ selama 90-110 menit. Proses

perebusan dilakukan secara bertahap dalam tiga puncak tekanan agar diperoleh hasil yang optimal.

Tujuan Perebusan adalah sebagai berikut :

1. Menghentikan perkembangan Asam Lemak Bebas (ALB) atau *free faty acid* (FFA)
2. Memudahkan Pemipilan
3. Penyempumaan dan Pengolahan
4. Penyempurnaan dalam proses pengolahan inti sawit
(Pahan, 2012:223-224).

a. Metode Perebusan

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, PTPN IV Kebun Adolina, menggunakan pola perebusan 3 puncak. Adapun tahapan-tahapan yang biasa dilakukan dalam sterilisasi tiga puncak sebagai berikut :

1. 13 menit pemasukan uap pertama dari 0-2,3 kg/cm² termasuk menguras udara 2 menit.
2. 2 menit pembuangan uap pertama sampai tekanan menjadi 0 kg/cm².
3. 12 menit pemasukan uap kedua kali sampai tekanan 2,5 kg/cm².
4. 2 menit pembuangan uap kedua kali sampai tekanan menjadi 0
5. 14 menit pemasukan uap ketiga kali sampai tekanan 3,0 kg/cm². 40-50 menit tekanan uap ditahan 3,0 kg/cm²
6. 4 menit pembuangan akhir uap sampai tekanan menjadi 0.

4. Proses Pemipilan (*Threser*)

Tujuan utama proses ini adalah untuk melepaskan dan memisahkan bron-dolan buah dari tandannya. Proses pelepasan buah dari tandannya atau pemipilan ini berlangsung oleh kerjasama antara berat tandan dan gaya sentrifugal yang terjadi karena berputarnya alat pemipil dan dengan adanya

bantuan kisi-kisi yang ada di dalamnya, buah terangkat dan jatuh terhempas sehingga buah dan brondolan lepas dari tandan. Pada bagian dalam dari pemipil, dipasang batang-batang besi perantara sehingga membentuk kisi-kisi yang memungkinkan brondolan keluar dari pemipil. Brondolan masuk ke konveyor buah (*bottom fruit conveyor*) untuk didistribusikan ke tiap-tiap *digester* sedangkan tandan kosong terdorong keluar dan masuk ke dalam konveyor tandan kosong (*empty bunch conveyor*). (Posman, 2014)

5. Proses Pengempaan

Stasiun pengempaan merupakan stasiun utama dalam proses pemisahan minyak dari sabut dan inti buah kelapa sawit. Pada stasiun tersebut, terdapat dua proses penting yang perlu diketahui dan dipahami, yaitu proses *digestion* dan *pressing*.

a. Pencacahan (*Digester*)

Brondolan yang telah terpipil dari stasiun pemipilan (*Stripper*) kemudian dibawa ke stasiun pengadukan atau *digester*. Pada proses pengadukan brondolan akan dilumat untuk melepaskan daging buah dari biji melalui proses pemanasan oleh uap panas pada dinding alat tersebut, kemudian diaduk hingga terbentuk larutan massa yang homogen. Tujuan utama proses *digesting* adalah mempersiapkan daging buah untuk pengempaan (*pressing*) sehingga minyak dapat dengan mudah dipisahkan dari daging buah dengan mutu yang baik.

Digester yang berupa bejana atau sebuah tangki vertikal dilengkapi dengan pisau pengaduk atau lengan-lengan pencacah di bagian dalamnya. Pisau pencacah berputar sekitar 23-25 rpm yang digerakkan oleh motor listrik yang dipasang di bagian atas *digester*. Daging buah akan dilumatkan guna memecahkan jaringan sel minyak.

b. Pengempaan (*Screw Press*)

Setelah brondolan dilumatkan dalam *digester* selanjutnya didistribusikan ke *screw press* yang beroperasi melalui corong digester ke *screw press* dimana 3 buah *screw press* dioperasikan secara bersamaan dan 1 buah dalam keadaan standby. Corong masuk dilengkapi pipa air untuk memperlancar aliran massa yang masuk kedalam *screw press* dan memudahkan proses selanjutnya.

Minyak yang keluar dari lubang *press cylinder* ditampung dalam talang minyak (*oil gutter*), sedangkan ampas kempa (serabut dan biji) terdorong keluar dari ujung konus (*cones*) ditampung dalam CBC (*Cake Breaker Conveyor*) untuk mempermudah pemisahan dan pengaliran minyak pada oil gutter dan proses penyaringan minyak dilakukan penambahan air pengencer (*water delution*) yang diperoleh dari *Hot Water Tank* dengan temperatur 295⁰C (Yusmartato, 2017).

6. Proses Pemurnian (*Clarifier*)

Stasiun klarifikasi atau pemurnian yaitu stasiun pengolahan di pabrik kelapa sawit yang bertujuan untuk melakukan pemurnian minyak kelapa sawit dari kotoran-kotoran seperti padatan, lumpur, dan air. Minyak kasar yang diperoleh dari hasil pengempaan perlu dibersihkan dari kotoran, baik yang berupa padatan (*solid*), lumpur (*sludge*) maupun air. Tujuan dari pembersihan/pemurnian minyak kasar yaitu agar diperoleh minyak dengan kualitas sebaik mungkin dan dapat dipasarkan dengan harga yang layak.

Pada proses pemurnian minyak kelapa sawit, membutuhkan sejumlah peralatan yang fungsinya saling terkait untuk menghasilkan minyak dengan mutu yang baik. Berikut ini penjelasan peralatan yang digunakan dalam pemurnian minyak kasar yang diperoleh dari hasil pengempaan (Posman, 2014:30).

A. *Sand Trap Tank*

Alat ini berfungsi untuk mengurangi jumlah pasir dalam minyak yang akan dialirkan ke *vibrating screen* dengan maksud agar *vibrating screen*

terhindar dari gesekan pasir kasar yang dapat menyebabkan keausan pada *vibrating screen*.

B. Vibrating Screen

Pemakaian *vibrating screen* bertujuan untuk memisahkan *Non Oil Solid* (NOS) yang berukuran besar berupa ampas (serat) dan pasir halus. Sehingga pada proses selanjutnya, didapatkan minyak yang memenuhi standar.

C. Crude Oil Tank

Crude Oil Tank (COT) merupakan tangki pengendap crude oil yang berasal dari *vibrating screen* dan pemisah pasir atau *Non Oil Solid*. COT berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel yang tidak larut dan masih lolos dari *vibrating screen* sebelum dipompakan ke CST.

D. Balance Tank

Balance Tank adalah tangki penampung minyak yang dipompakan dari COT sebelum dimasukkan ke CST. Fungsi dari tangkin ini adalah untuk mengurangi tekanan cairan yang dipompakan langsung ke CST sehingga cairan di TCS dalam kondisi cairan yang lebih tenang. Dengan kondisi yang lebih tenang diharapkan proses pemisahan dapat berlangsung lebih sempurna.

E. Continous Settling Tank

Continous Settling Tank merupakan tangki yang dapat memisahkan lumpur dengan minyak, dimana prinsip pemisahan tersebut berdasarkan perbedaan berat jenis dari masing-masing komponen minyak mentah, dimana untuk berat jenis yang berat mengalir kedalam tangki yang kemudian akan dikirimkan ke *sludge tank*, sedangkan untuk berat jenis yang ringan akan dikirimkan ke *oil tank*.

F. Oil Tank dan Sludge Tank

Dari proses CST dihasilkan dua cairan yaitu minyak dan *sludge*. Minyak dialirkan ke *oil tank* dan dialirkan ke *sludge tank*. *Oil tank* berfungsi untuk menampung sementara minyak yang keluar dari CST sebelum masuk ke *oil purifier*. Di bagian bawah *oil tank* terdapat bagian berbentuk kerucut yang bertujuan untuk mengumpulkan kotoran yang mengendap, dan ujungnya terdapat pipa menuju *crude oil tank*. Pipa ini berfungsi untuk men drain minyak yang kotor. Panas yang ada menyebabkan air dan kotoran akan turun ke lapisan bawah.

Proses ulang pada *sludge* yang masih memiliki kandungan minyak yang berasal dari *Continuous Settling Tank* dimulai dari *sludge tank*. *Sludge tank* merupakan tangki penampung *sludge* sementara yang kemudian akan diolah dalam *sludge separator*. *Sludge* yang terdapat dalam *sludge tank* mendapat pemanasan yang tinggi sehingga dapat memisahkan minyak yang terikat dengan lumpur. Suhu pada *sludge tank* dipertahankan 90⁰C-98⁰C.

G. *Oil Purifier*

Oil Purifier adalah alat yang berfungsi untuk memurnikan air dan kotoran yang masih ada dalam minyak. Akibat gaya *centrifugal* yang terjadi, maka minyak yang mempunyai berat jenis lebih ringan bergerak ke arah poros dan terdorong keluar oleh sudut-sudut (*disc*), sedangkan kotoran dan air yang berat jenisnya lebih besar terdorong ke arah dinding bawah.

H. *Vacum Dryer*

Vacum Dryer merupakan alat yang berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam minyak. Kadar air dalam minyak perlu dipisahkan karena air dapat menyebabkan pembusukan pada minyak.

I. *Brush Strainer*

Brush Strainer adalah alat yang digunakan untuk mengolah *sludge* dari *sludge tank*. Alat ini berfungsi untuk memisahkan serabut yang masih ada dalam *sludge* sebelum diolah dalam *sludge separator*.

J. *Sand Cyclone*

Sand Cyclone atau *Pre Cleaner* adalah alat untuk memisahkan pasir yang masih terbawa minyak. *Sand cyclone* merupakan alat yang berfungsi untuk mengambil pasir halus yang masih terdapat di dalam *sludge* sebelum diolah pada *sludge separator*, agar peralatan pada *sludge separator* dapat terbebas dari keausan dini.

K. *Sludge Separator*

Sludge yang masuk kedalam *sludge separator* terdiri dari bahan mudah menguap 80-85%, bahan padatan bukan minyak (NOS) 8-12%. Tujuan dari proses ini adalah memisahkan minyak dari fraksi yang berbeda jenisnya. Air dan kotoran yang dipisahkan di sebut air drab dengan kadar minyak 7-10%. Fraksi ringan dikembalikan ke *Continous Settling Tank*. Suhu minyak dalam *sludge separator* dipertahankan diatas 90⁰C. Keberhasilan pemakaian *sludge separator* sangat menentukan terhadap persentase kehilangan minyak.

L. Bak Pengutip

Minyak dan lumpur yang masuk kedalam bak ini akan dikutip untuk diambil minyaknya dan membuang lumpurnya. Lumpur dibuang melalui pipa ke parit pembuangan menuju bak fat-fit. Lumpur yang terbang berwarna coklat dan masih mengandung minyak.

M. Bak *Fat Fit*

Bak *Fat-Fit* merupakan bak penampung limbah sementara yang digunakan untuk mengambil minyak yang terbang bersama lumpur. Dengan kata lain, bak ini berfungsi sebagai tempat penampungan sementara *losses* minyak hasil pengolahan.

N. *Deoling Pond*

Deoling Pond adalah tempat penampungan sisa minyak dan lumpur yang berasal dari bak *fat-fit* sebelum dialirkan ke kolam penampungan limbah.

2.1.3. Standar Kehilangan Minyak Kelapa Sawit

Ekstraksi atau pengutipan minyak dari buah kelapa sawit tidak akan pernah mencapai 100%, kehilangan minyak pasti terjadi, tetapi harus diusahakan sekecil mungkin atau pada batas-batas yang ditolerir. Salah satu parameter untuk menentukan apakah suatu pabrik kelapa sawit dapat dikatakan bekerja efektif dan efisien yaitu angka-angka kehilangan minyak yang sudah distandarkan.

Perhitungan rendemen CPO diperoleh dengan cara membandingkan produksi CPO dengan tandan buah segar yang diolah dan dijadikan dalam bentuk persentase. Dengan demikian apabila telah didapatkan produktivitas bahan baku dan rendemen CPO akan sama dengan hasil produktivitas bahan baku. Kualitas bahan baku tandan buah segar mempengaruhi rendemen, jika rendemen rendah maka produksi yang didapatkan juga rendah dan sebaliknya jika rendemen tinggi maka produksi juga akan tinggi.

Kualitas tandan buah segar dilihat dari tingkat kematangannya, apabila panen dilakukan dalam keadaan lewat matang maka rendemen minyaknya sudah mulai menurun, Sebaliknya jika pemanenan dilakukan dalam keadaan buah belum matang maka rendemen minyak yang diperoleh juga rendah. Jika rendemen minyak kelapa sawit yang diperoleh rendah maka produktivitas pemakaian bahan baku juga tidak efisien. Faktor lain yang menyebabkan tidak efisiennya pemakaian bahan baku tandan buah segar adalah mesin pengolah TBS menjadi CPO.

Untuk mencapai rendemen yang ditetapkan tidaklah mudah karena ada beberapa hal yang bisa menyebabkan rendahnya rendemen, yaitu:

1. Penyebab utama rendahnya rendemen adalah kualitas tandan buah segar yang tidak bagus. Tandan buah segar yang belum matang dan lewat matang akan mempengaruhi rendemen yang diperoleh. Hal ini didukung oleh pendapat pemanenan pada buah yang mentah akan menurunkan kandungan minyak. Pengolahan tandan buah mentah akan menghasilkan minyak dalam jumlah kecil. Hal ini menyebabkan pasokan TBS dengan proporsi buah mentah yang tinggi akan menyebabkan turunnya rendemen.

2. Mesin yang digunakan untuk pengolahan bisa menyebabkan kehilangan minyak. Kehilangan minyak bisa saja terjadi pada proses pengepressan, jika mesin pengepressan daging buah sawit mengalami kerusakan, hal itu akan menyebabkan minyak terbuang di ampas. Setiap peralatan yang tidak memiliki kemampuan dan kapasitas desain yang optimal maka kehilangan minyak yang dihasilkan menjadi tinggi dan rendemen yang dihasilkan semakin menurun.
3. Kesalahan lain disebabkan bagian sortasi yang kurang teliti dalam memisahkan buah. Sehingga buah yang masuk ke pabrik tidak seragam kualitasnya, maka hal ini bisa menyebabkan rendemen menjadi rendah. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, penyebab kurang optimalnya bagian sortasi memisahkan buah karena buah yang dibongkar dalam jumlah banyak. (Febri, 2015).

PTPN IV Kebun Adolina mengolah tandan buah segar sebanyak 30 ton/jam dan menetapkan rendemen minyak sawit yang diperoleh sebesar 24,09%. Untuk memperoleh rendemen minyak sawit sesuai dengan yang telah ditetapkan oleh perusahaan, PT. Perkebunan Nusantara IV Unit Usaha Adolina menetapkan standar kehilangan minyak sawit seperti tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.2. Standart Kehilangan Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Standar <i>Losses</i> (%)
Drab buangan (<i>Deoiling Pond</i>)	0,50
Ampas kempa	3,90
Tandan kosong	1,85
Buah ikut tandan kosong	2,50
Biji ampas kempa	0,80
<i>Sludge sentrifuge</i>	0,60
Air rebusan	0,50

Sumber : Standar Operasional PTPN IV Kebun Adolina

2.1.4. Standar Mutu Minyak Kelapa Sawit

Mutu minyak kelapa sawit bisa diukur dengan angka-angka dari minyak sawit itu sendiri. Beberapa kriteria yang bisa digunakan untuk mengukur kualitas minyak kelapa sawit harus dipahami benar oleh produsen jika ingin produknya diterima oleh konsumen, terutama di luar negeri.(Febri.2015).

Standar mutu adalah hal yang paling penting untuk menentukan minyak yang bermutu baik. Ada beberapa faktor yang menentukan standar mutu, yaitu kandungan air dan kotoran dalam minyak, kandungan asam lemak bebas, dan bilangan peroksida. Faktor lain yang mempengaruhi standar mutu adalah titik cair dan kandungan gliserin, *refining loss*, plastisitas dan *spreadability*, kejernihan kandungan logam berat dan bilangan penyabunan.

Mutu minyak kelapa sawit yang baik mempunyai kadar air kurang dari 0,1 % dan kadar kotoran lebih kecil dari kandungan asam lemak bebas serendah mungkin (lebih kurang dari 2% atau kurang), bilangan peroksida dibawah 2, bebas dari warna merah dan kuning (harus berwarna pucat), tidak berwarna hijau, jernih, dan kandungan logam berat serendah mungkin atau bebas dari ion logam. Mutu CPO yang dihasilkan pabrik akan dipengaruhi oleh kualitas panen, pengangkutan, proses pengolahan dan penimbunan atau penyimpanan. Adapun parameter mutu CPO dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.3. Standart Mutu Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Standar
Asam Lemak Bebas	3,5% maks
Kadar Air	0,15% maks
Kadar Kotoran	0,02% maks
DOBI	2,5 min
Bilangan Iodin	51 min
Bilangan Peroksida, mek/kg	5,0 maks
Bilangan Anisidine, mek/kg	5,0 maks
Fe (Besi) ppm	5,0 maks
Cu (Tembaga) ppm	0,3 maks
Titik cair	39 ⁰ C- 41 ⁰ C
B- Karoten	2500 ppm

Sumber : Standart Operasional PTPN IV Kebun Adolina

2.2. Sludge Separator

Cairan *sludge separator* dari *sludge tank* dipompakan ke *balance tank* sebelum diproses *rotary brush strainer* dan *pre cleaner* yang selanjutnya diolah di *sludge separator*. Pada *balance tank* dibuat pipa *over flow* kembali ke *sludge tank*. *Sludge Centrifugasi* atau *Sludge Separator* adalah alat untuk mengutip minyak dalam *sludge* setelah proses di *rotary brush strainer* dan *pre cleaner*. Dengan prinsip sentrifugasi minyak yang berat jenisnya lebih kecil akan bergerak menuju proses dan terdorong keluar melalui sudut-sudut (*disc*). Minyak hasil pengutipan dikirim ke CST. Cairan dan ampas yang mempunyai berat jenis lebih berat daripada minyak akan terdorong ke bagian dinding *bowl* dan keluar melalui *nozzle*. Padatan yang menempel pada dinding *bowl* dibersihkan atau dicuci secara manual setiap 5 jam sekali.

2.3. Pemisahan Sludge

Lumpur yang berasal dari bagian bawah tangki pemisah lanjut (CST) dialirkan ke tangki lumpur (*Sludge Oil Tank*) yang digunakan untuk menampung beberapa cairan lumpur yang masih banyak mengandung minyak- Kemudian *sludge* tersebut akan dialirkan ke *cyclone*. Didalam *Sand Cyclone* dilakukan pemisahan minyak dari pasir dan kotoran-kotoran lainnya, yang bertujuan untuk menghindari tersumbatnya *nozzle-nozzle* dari *sludge separator*. *Sand cyclone* ini berbentuk kerucut terbalik, sehingga pasir dan kotoran-kotoran mudah turun dan dibuang secara kontinue ke saluran pabrik, sedangkan cairan yang telah tersaring keluar dari bagian atas dan dialirkan kedalam pemisah lumpur (*Sludge Separator*) untuk dikutip minyaknya.

Sludge Separator adalah alat untuk pengutipan kembali kandungan minyak kelapa sawit mentah yang masih ada didalam *sludge* dari *continous settling tank*. Adapun prinsip kerja dari *sludge separator* sama dengan *oil purifer* yaitu

berdasarkan perbedaan jenis dan gaya *sentrifugasi*. Dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.1 Alat *Sludge Separator*

Sumber : Pabrik PTPN IV Kebun Adolina 2022

Bak ini berfungsi untuk menampung cairan lumpur yang masih mengandung minyak yang berasal dari parit klarifikasi dan cairan berupa air kondensat rebusan yang mengandung minyak.

Komposisi *sludge* yang keluar dari *sludge tank* dipengaruhi oleh:

- 1 . Jumlah air pengencer yang digunakan. Jumlah air yang terproyeksi pada *sludge* seluruhnya berasal dari air buah, air pengencer pada *screw press*, ayakan getar dan air pencucian lantai yang terkumpul ke fat-fit dan dipompakan ke COT atau CST.
2. Perlakuan sebelumnya, apakah menggunakan alat seperti *sand cyclone* atau *strainer*. Pabrik yang tidak menggunakan *decanter* untuk mengambil lumpur sebelum *continuous settling tank* umumnya menggunakan *decanter*.
3. Pemakaian ayakan getar. Ayakan getar dapat ditempatkan pada bak penampungan *sludge* yang kemudian dipompakan kedalam *sludge separator*. Fungsi ayakan getar adalah untuk memisahkan lumpur dan pasir yang terdapat di dalam cairan. Dengan berkurangnya kandungan NOS maka kemampuan *sludge separator* untuk memisahkan minyak semakin tinggi. Ayakan yang digunakan adalah ukuran 50

mesh sehingga lumpur dan pasir halus yang lolos pada ayakan getar di COT dapat tertapis.

Tujuan dari proses *sludge separator* ialah memisahkan minyak dari air dan kotoran, dengan kata lain untuk memisahkan minyak dari fraksi yang berat jenisnya satu (1). Air dan kotoran yang dipisahkan disebut dengan air drab dengan kadar minyak/zat kering 7%-10%. Fraksi ringan dikembalikan ke *oil settling tank*. Suhu minyak dalam *sludge separator* dipertahankan di atas 90⁰C yang dapat dibantu dengan pemberian uap panas. Cairan yang telah dibebaskan dari pasir-pasir halus dipompakan lagi ke *oil settling tank*. Keberhasilan pemakaian *sludge separator* sangat menentukan terhadap persentase kehilangan minyak. Kemampuan alat memisahkan VM (bahan mudah menguap) dengan NOS tergantung dari :

1. Kapasitas oleh *sludge separator*

Debit cairan yang tinggi akan mempengaruhi pemisahan fraksi-fraksi, yaitu volume yang terlalu besar dapat menurunkan perbedaan antara fraksi ringan dan berat, sehingga kehilangan minyak dan air drab tinggi. Kapasitas oleh separator dipengaruhi oleh jenis alat *sludge separator* dan ukuran *nozzle* yang dipakai.

2. *Nozzle*

Ukuran lubang *nozzle* mempengaruhi pemisahan fraksi ringan dan berat. Semakin kecil ukuran *nozzle*, maka daya pisah semakin baik yaitu kadar minyak dalam air buangan relatif kecil, akan tetapi *nozzle* sangat cepat rusak, yang diakibatkan oleh gesekan pasir halus. *Nozzle* yang berukuran besar menyebabkan kehilangan minyak yang relatif tinggi pada air buangan, namun umur *nozzle* yang berukuran besar lebih panjang dibandingkan dengan yang berukuran kecil.

3. Jenis *Sludge Separator*

Terdapat dua jenis *sludge separator* yang dikenal untuk digunakan di PKS, yakni jenis putaran horizontal dan jenis putaran vertikal. Jenis Horizontal yang umum digunakan adalah buatan α -alfa laval dan westfalia dengan kapasitas yang besar yaitu 6-8 m³/jam.

Keseimbangan pemisahan lumpur dari cairan yang masuk kedalam *sludge separator* perlu dipertahankan dengan:

a. Mempertahankan tekanan pada outlet *sludge separator* dengan membuat bak yang berisi air, sehingga tekanan lawan konstan. Ada juga alat *sludge separator* yang dilengkapi dengan *vasculator* dan berfungsi untuk mengukur volume outlet sekaligus menjadi *stabilisator* tekanan.

b. Mengisi air panas kedalam *sludge separator* untuk dapat mempertahankan tekanan dalam *sludge separator* sehingga kecepatan air dan pemisahan air dengan lumpur konstan.

2.4. Bagian-Bagian Pengutipan Minyak

Pengolahan *sludge* merupakan salah satu upaya untuk mengurangi kandungan minyak yang hilang (*oil losses*) terikut pada *sludge* sebagai salah satu limbah cair yang keluar dari pengolahan. Ada beberapa alat yang sering digunakan untuk pengutipan minyak dari *sludge* pada pabrik kelapa sawit. Alat tersebut dibagi menjadi dua bagian berdasarkan output keluaran yang dihasilkan, yaitu : *sludge separator* (horizontal) dan *sludge centrifuges* (vertikal). Kedua jenis alat ini akan berfungsi untuk mengutip minyak dari *sludge* dengan cara pemusingan atau sentrifugal. Yang membedakan hanya pada bentuk sentrifugal yang dihasilkan, pada *sludge centrifus* secara vertikal sedangkan pada hasil output pengeluarannya berupa cairan draft (*heavy phase*) dan *light phase* (kandungan cairan yang banyak mengandung minyak).

Sludge yang masuk kedalam *sludge tank* terdiri dari bahan mudah menguap (*volatile material*) material 80-85%, bahan padatan bukan minyak (NOS) 8-12% dan minyak 5-10%. Kandungan minyak 5-10% ini lah yang ingin tetap bisa diambil, karena kehilangan 1% minyak saja akan sangat tidak di inginkan oleh pabrik kelapa sawit. Bisa dibayangkan akan mengakibatkan kerugian pada pabrik kelapa sawit, karena pada setiap pabrik kelapa sawit memiliki standart rendemen (EOR) yang harus dicapai. Dan hal pengolahan *sludge* ini lah sebagai upaya untuk bisa mencapai standart rendemen dan memperkecil kehilangan minyak selama pengolahan CPO.

2.5. NIRS™ DA1650

NIRS™ DA1650 menggunakan teknologi inframerah dekat membawa analisis NIR dengan akurasi tinggi ke pabrik kelapa sawit dan laboratorium, menghasilkan kualitas produk akhir yang konsisten. Analisa tersebut adalah minyak dan kadar air di pressan, kehilangan minyak pada tandan kosong, kehilangan minyak pada air kondensat, kehilangan minyak di *decanter* dan kehilangan minyak di *sludge separator* (Analita B. M, 2018).



Gambar 2.2. NIRS™ DA1650

Sumber : Laboratorium PTPN IV Kebun Adolina 2022

2.6. Kajian Ekonomi

Efisiensi ekonomis didefinisikan sebagai besarnya keluaran per unit masukan yang dinyatakan dalam biaya dan hasil. Suatu pabrik dikatakan efisien jika biaya untuk menghasilkan keluaran lebih kecil dari nilai keluaran. Ukuran efisiensi dapat dikembangkan dengan menghubungkan biaya real yang terjadi dengan suatu standar, yaitu berupa biaya yang seharusnya terjadi untuk menghasilkan keluaran tertentu. Keluaran adalah produksi minyak dan inti sawit yang diusahakan sebanyak mungkin dengan biaya tertentu.

1. Struktur Biaya

Tahap awal dari analisis biaya adalah untuk melihat sektor- sektor mana yang

mengeluarkan biaya paling banyak dan kemungkinan bisa dikurangi. Oleh karena itu, sebelum dilakukan analisis biaya pengolahan, terlebih dahulu diperhatikan biaya produksi sebab biaya pengolahan merupakan komponen biaya produksi.

2. Harga Pokok

Harga pokok adalah gambaran kuantitatif dari pengorbanan yang harus dilakukan oleh produsen untuk mendapatkan nilai tambah produk dipasar. Harga pokok merupakan dasar untuk menentukan harga jual. Penentuan harga pokok minyak sawit dilakukan dengan metode biaya proses atau kegiatan produksi lainnya dan membagikan biaya tersebut sama rata kepada produk yang dihasilkan dalam periode yang bersangkutan.

Harga pokok minyak sawit dan inti sawit mencerminkan besarnya biaya produksi per satuan produksi. Harga pokok ditingkat kebun belum termasuk beban biaya penyusutan dan pemasaran yang biasanya dibebankan dari kantor pusat. Besar kecilnya harga pokok tergantung pada biaya produksi total. Sementara, biaya produksi total tergantung pada biaya pemeliharaan tanaman.

Harga CPO pada bulan September- November berturut-turut diasumsikan sebesar Rp.10.571, Rp. 10.897, Rp.12.613 per kg. Kerugian perusahaan dapat dihitung berdasarkan jumlah kehilangan minyak pada limbah cair dari unit *sludge separator* pada suatu Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Semakin besar kehilangan minyak sawit terhadap sampel maka semakin besar juga kerugian yang dialami perusahaan.

2.7. Kajian Penelitian yang Relevan

Tabel 2.4. Kajian Penelitian yang Relevan

No.	Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
1.	Riki Pratama Siregar	2011	Penentuan Kadar Minyak Mentah (CPO) Yang Terbawa Dalam Air Limbah Pada Proses Pemurnian Minyak Di Sludge Separator Di PKS PT. Multimas Nabati Asahan-Kuala Tanjung	Berdasarkan data yang diperoleh,persentase (kadar)minyak dalam kotoran air limbah dapat dijadikan tolak ukur bagi keberhasilan proses pemurnian minyak. Dari analisa yang dilakukan diperoleh data hubungan antara jumlah waktu terhadap kehilangan minyak pada <i>sludge separator</i> pada proses pemisahan minyak di stasiun klarifikasi. Diperoleh bahwa semakin lama alat bekerja maka semakin banyak pula kadar minyak yang terbuang dengan kadar sekitar 1,21%.hal ini menunjukkan kadar kehilangan minyak yang tinggi,dengan kata lain banyak minyak yang terikut pada <i>sludge</i> yang dibuang yang mengakibatkan potensi pengtipan minyak yang rendah.
2.	Bagus Nugroho, dkk	2021	Analisis Efisiensi Sludge Centrifuge Guna Pengendalian Losses Minyak Kelapa Sawit Di Stasiun	Dari pembahasan di atas diketahui kandungan minyak pada <i>sludge</i> umpan berkolerasi positif dan signifikan terhadap kandungan minyak total minyak pada <i>light phase</i> tetapi tidak pada <i>heavy phase</i> . Sehingga semakin banyak kandungan minyak pada <i>sludge</i> umpan,maka semakin banyak pula kandungan minyak pada <i>light phase</i> yang merupakan output dari <i>sludge centrifuge</i> . Sedangkan minyak yang

			Klarifikasi	terkandung pada <i>heavy phase</i> , yang merupakan representasi dari <i>oil losses</i> , tidak berkorelasi linier terhadap banyaknya kandungan minyak pada <i>sludge</i> umpan.
3.	Riski Vadley Sinurat	2022	Estimasi Potensi Kerugian Berdasarkan Kehilangan Minyak (<i>Losses</i>) Pada Air <i>Condensate</i> Dan <i>Sludge Separator</i> Di PTPN II Pagar Merbau	Kehilangan minyak pada proses pengolahan TBS menjadi CPO di PTPN II Pagar Merbau sudah memenuhi standar bila dilihat dari rata-rata <i>losses</i> setiap sampel nya, hanya terdapat beberapa sampel pada hari tertentu mengalami <i>losses</i> yang melebihi norma yang telah ditetapkan
4.	Arjanggi Nasution	2022	Kajian Komparasi Kinerja <i>Sludge Separator</i> Dan Dekanter 3 Fasa Pabrik Kelapa Sawit (PKS)	Secara operasional terdapat faktor penunjang <i>sludge separator</i> meliputi suhu, ukuran <i>nozzle</i> , dan putaran <i>bowl</i> , sementara faktor penunjang dekanter 3 fasa meliputi laju alir dan komposisi umpan, kecepatan sentrifugal dan diferensial, kedalaman zona klarifikasi serta bukaan <i>weir liquid discharge</i> .
5.	Prakarsa Ade Putra Surbakti	2021	Identifikasi Eksperimental Vibrasi Pada Sistem Transmisi Mesin <i>Sludge Separator</i>	Pada penelitian ini penulis berfokus pada <i>Sludge Separator Centrifuge</i> . Dengan besarnya putaran yang terjadi pada sistem transmisi, <i>bowl disk</i> dan komponen yang lain sehingga membuat munculnya getaran yang terjadi pada mesin tersebut. Analisa vibrasi sangat penting karena salah satu indikator terbaik untuk mendeteksi masalah mekanis untuk peralatan berputar, karena getaran suatu mesin yang disebabkan oleh gaya berulang seperti ketidakseimbangan, <i>misalignment</i> , poros bengkok, kerusakan bantalan, kelonggaran mekanik, <i>gear</i> aus, kavitasi dan resonansi.