

Investigasi Kegagalan Pompa Sentrifugal Tipe Ksb Kapasitas 235 M³/H Terhadap Chiller Trip Di PT. PHPO Belawan Medan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)

Investigation of the Failure of a KSB Type Centrifugal Pump with a Capacity of 235 M³/H on Chiller Trip at PT. PHPO Belawan Medan Using the Reliability Centered Maintenance (RCM) Method

Enzo W.B Siahaan^{1*}, Hodmiantua Sitanggang², Citra Satria Manalu³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Darma Agung

Jl. DR. TD Pardede No.21 Medan, Sumatera Utara

*Corresponding author Email: enzo.battra84@gmail.com

Abstrak

Pada industri pengolahan Minyak Kelapa Sawit atau Crude Palm Oil (CPO) menjadi sebuah produk dengan mutu yang lebih baik seperti RBDPO (Refined Bleached Deodorized Palm Oil), Mesin pompa merupakan komponen yang memiliki peranan yang sangat penting dalam menjalankan proses Refinery atau pemurnian hingga proses Fraksinasi RBDPO menjadi RBDPO Olein dan RBDPO Stearin. Semakin sering pompa digunakan, maka akan menurunkan kinerja dari pada kemampuan pompa tersebut, yang berdampak pada penggantian komponen dalam mesin pompa. Gejala yang sering terjadi pada pompa adalah kebocoran pada packing baik pada Mechanical Seal dan Rubber Kopling atau kerusakan pada komponen seperti bearing atau impeller. Sistem perawatan di perusahaan ini kurang memperhatikan keandalan mesin, jika terjadi kegagalan hanya akan mengganti komponen yang rusak tanpa memperhatikan kondisi mesin untuk proses pemakaian kedepannya. Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan analisa kegagalan pada pompa sentrifugal dengan menggunakan metode RCM (Reliability centered Maintenance) yang meliputi pembuatan kegagalan fungsi yang kemudian dicari mode kerusakan, penyebab kerusakan akan ditentukan sehingga dapat dianalisa pengaruh kerusakan terhadap unjuk kerja pompa. Ada beberapa tahap dalam penyusunan yang dilakukan. Hasil akhir yang didapatkan dari metode RCM yaitu pada penyusunan Failure Mode Effect Analysis didapatkan tingkat kegagalan tertinggi yaitu Mechanical Seal (Mech seal) dengan nilai 96 dan pada Rubber Kopling dengan nilai 84, sehingga diperlukan perawatan intensif yang diharapkan dapat meningkatkan umur operasi pompa dan berdasarkan dari hasil penyusunan fault tree analysis didapatkan nilai keandalan dibawah 50 % yang berarti memiliki pemeliharaan yang kurang baik.

Kata kunci : Pompa Sentrifugal, RCM, Mechanical Seal, Rubber Kopling

Abstract

In the Crude Palm Oil (CPO) processing industry, it becomes a better quality product such as RBDPO (Refined Bleached Deodorized Palm Oil). RBDPO becomes RBDPO Olein and RBDPO Stearin. The more often the pump is used, the lower the performance of the pump's ability, which has an impact on the replacement of components in the pump engine. Symptoms that often occur in pumps are leaks in the packing both the Mechanical Seals and Rubber Couplings or damage to components such as bearings or impellers. The maintenance system at this company pays little attention to machine notifications, if a failure occurs it will only replace the damaged component without regard to the condition of the machine for the future usage process. Therefore, in this study, a failure analysis was carried out on centrifugal pumps using the RCM (Reliability Centered Maintenance) method which includes making a malfunction which then looks for the damage mode, the cause of the damage will be determined so that the effect of the damage on the pump performance can be analyzed. There are several stages in the preparation carried out. The final results obtained from the RCM method, namely the preparation of Failure Mode Effect Analysis, obtained the highest failure rate, namely Mechanical Seals (Mech seals) with a value of 96 and Rubber Couplings with a value of 84, so that intensive maintenance is needed which is expected to increase the operating life of the pump. From the results of the fault tree analysis, the reliability value is below 50%, which means that it has poor maintenance.

Keywords : Centrifugal Pump, RCM, Mechanical Seals, Rubber Couplings

PENDAHULUAN

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi mekanis menjadi energi hidrolis. Secara umum pompa digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan menaikkan tekanan fluida tersebut, dan pompa memberikan energi kepada fluida yang dipompanya.

Pada dasarnya prinsip kerja pompa adalah membuat tekanan rendah pada isap, sehingga fluida akan terhisap masuk dan mengeluarkannya pada sisi tekan atau sisi keluar dengan tekanan yang lebih tinggi, semua itu dilakukan dengan menggunakan elemen pompa penggerak yaitu impeller, plunger atau piston. Untuk bekerja pompa membutuhkan energi yang diperoleh dari luar yang biasa diperoleh dari motor listrik.

Pada proses produksi fraksinasi di PT. Permata Hijau Palm Oleo (PHPO) Belawan pompa sentrifugal berperan sebagai pensupply air cooling tower ke chiller sebagai media pendinginan air. Semakin sering mesin pompa tersebut digunakan, maka akan menurunkan kinerjadaripada kemampuan pompa sehingga berkurangnya pressure air masuk ke dalam chiller sehingga dapat menyebabkan chiller trip, terlebih proses produksi fraksinasi yang bekerja secara continue selama 24 jam.

Gejala yang sering terjadi pada pompa adalah kebocoran pada packing dan juga over heating pada bearing. Penurunan kondisi mesin inilah yang menjadi masalah yang dihadapi oleh PT. PHPO Belawan.

Sistem perawatan di PT. PHPO Belawan kurang memperhatikan keandalan mesin dimana jika terjadi kerusakan hanya akan mengganti komponen yang rusak tanpa memperhatikan kondisi mesin apakah masih dapat beroperasi sesuai dengan harapan atau tidak.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah: untuk mengetahui kondisi komponen pompa dengan metode FMEA,

untuk menentukan laju kegagalan dan laju kehandalan pada komponen pompa, dan untuk mengetahui nilai kehandalan pada pompa dengan metode FTA.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Pemeliharaan

Pada umumnya sebuah produk yang dihasilkan oleh manusia, tidak ada yang tidak mungkin rusak, tetapi usia penggunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan yang dikenal dengan pemeliharaan. (Corder, Antony, K.Hadi, 1992). Oleh karena itu, sangat dibutuhkan kegiatan pemeliharaan yang meliputi kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin yang digunakan dalam proses produksi. Pemeliharaan mesin merupakan hal yang sangat sering dipermasalahkan antara Bagian Pemeliharaan dan Bagian Produksi. Karena Bagian Pemeliharaan dianggap yang memboroskan biaya, sedangkan Bagian Produksi merasa yang merusakkan tetapi juga yang membuat uang (Soemarno, 2008).

Pemeliharaan atau perawatan pompa adalah suatu tindakan yang dilakukan dengan tujuan memperpanjang usia pakai, menjamin ketersediaan optimum dari peralatan, menjamin kesiapan operasional, dan menjamin keselamatan orang yang melaksanakan tugas perawatan.

Jenis pompa yang digunakan sebagai acuan dalam pemeliharaan atau perawatan adalah pompa jenis sentrifugal yang menjadi inti dari pembahasan ini, dimana pompa sentrifugal adalah pompa yang digunakan untuk menyuplai air dingin dari *cooling tower* ke mesin Chiller. Chiller (unit pendingin), adalah mesin refrigerasi yang

berfungsi untuk mendinginkan air pada sisi evaporatornya.

B. Tujuan dan Fungsi Pemeliharaan

Menurut Sofyan Assauri, 2004, tujuan pemeliharaan yaitu:

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi,
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu,
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang di luar batas dan menjaga modal yang di investasikan tersebut,
4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien,
5. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja,
6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan (return on investment) yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

Sedangkan menurut Daryus A, (2008) dalam bukunya manajemen pemeliharaan mesin, Tujuan pemeliharaan yang utama dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Untuk menjaga kegunaan
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan

laba investasi maksimum yang mungkin,

3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.

Fungsi pemeliharaan adalah agar dapat memperpanjang umur ekonomis dari mesin dan peralatan produksi yang ada serta mengusahakan agar mesin dan peralatan produksi tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap pakai untuk pelaksanaan proses produksi. (Agus Ahyari, 2002).

C. Jenis – Jenis Pemeliharaan

Menurut Corder, Antony, K. Hadi, (1992) secara umum ditinjau dari saat pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan dikategorikan dalam dua cara, yaitu Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*) dan Pemeliharaan Tak Terencana (*Unplanned maintenance*).

Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terorganisir untuk mengantisipasi kerusakan peralatan di waktu yang akan datang, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. (Corder, Antony, K. Hadi, 1992). Pemeliharaan terencana dibagi menjadi dua aktivitas utama yaitu: Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*) dan Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*).

Menurut Dhillon B.S, (2006) dalam bukunya "*maintainability, maintenance, and reliability for engineers*" ada 7 elemen dari pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) yaitu: Inspeksi, Kalibrasi, Pengujian, Penyesuaian, Servicing, Instalasi, dan Alignment.

Pemeliharaan tak terencana adalah yaitu pemeliharaan darurat atau *breakdown maintenance*, yang didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi,

kerusakan besar pada peralatan, atau untuk keselamatan kerja.(Corder, Antony, K. Hadi, 1992).

D. Hubungan Pemeliharaan dengan Proses Produksi

Pemeliharaan dengan proses produksi sangat lah berhubungan terhadap proses produksi sehari-hari dalam perusahaan , untuk menjaga agar seluruh fasilitas dan peralatan perusahaan tetap berada pada kondisi yang baik dan siap selalu untuk digunakan dan kegiatan hendaknya tidak mengganggu jadwal produksi.

Menurut Sofjan Assauri (2004) agar proses produksi berjalan dengan lancar, maka kegiatan pemeliharaan yang harus dijaga dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menambah jumlah peralatan dan perbaikan para pekerja bagian pemeliharaan, dengan demikian akan di dapat waktu rata-rata kerusakan dari mesin yang lebih kecil,
2. Menggunakan pemeliharaan pencegahan, karena dengan cara ini dapat mengganti parts yang sudah dalam keadaan kritis sebelum rusak,
3. Diadakannya suatu cadangan di dalam suatu system produksi pada tingkat kritis, sehingga mempunyai suatu tempat parallel apabila terjadi kerusakan mendadak. Dengan adanya suku cadangan ini, tentu akan berarti adanya kelebihan kapasitas terutama untuk tingkat kritis tersebut, sehingga jika ada mesin yang mengalami kerusakan, perusahaan dapat berjalan terus tanpa menimbulkan adanya kerugian karena mesin-mesin menganggur,
4. Usaha-usaha untuk menjadikan para pekerja di bidang pemeliharaan ini sebagai suatu komponen dari mesin-mesin yang ada, dan untuk menjadikan mesin tersebut sebagai suatu komponen dari suatu system produksi secara keseluruhan,
5. Mengadakan percobaan untuk menghubungkan tingkat-tingkat

system produksi lebih cermat dengan cara mengadakan suatu persediaan cadangan diantara berbagai tingkat produksi yang ada, sehingga terdapat keadaan dimana masing-masing tingkat tersebut tidak akan sangat tergantung dari tingkat sebelumnya.

E. Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* merupakan metode pemeliharaan yang menentukan langkah-langkah yang harus diambil untuk menjamin peralatan bekerja sesuai dengan fungsinya.

Salah satu tujuan dari maintenance adalah untuk memastikan bahwa suatu aset fisik tetap melakukan tugasnya sesuai parameter yang diinginkan oleh penggunaannya. Dalam hal ini, *Reliability Centered Maintenance (RCM)* mempunyai peranan penting dalam melakukan maintenance. *RCM (Reliability Centered Maintenance)* merupakan sebuah proses atau metode yang digunakan untuk menentukan kebutuhan maintenance suatu aset fisik agar tetap bisa melakukan tugasnya

Metode *RCM* meliputi pembuatan kegagalan fungsi yang kemudian akan dicari mode kerusakannya. Dengan adanya Mode kerusakan, penyebab kerusakan akan ditentukan sehingga dapat didapat dianalisa pengaruh kerusakan terhadap unjuk kerja peralatan.

Pada metode *RCM* yang paling penting adalah mengumpulkan informasi dan data untuk mengetahui dengan baik sistem yang akan dianalisa. Kegiatan dilakukan untuk mempermudah proses analisa sistem. Penerapan tahap-tahap metode *RCM* terdiri dari empat tahap yang sistematis yaitu :

1. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi.
2. Pendefinisian batas sistem.

3. Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA).
4. Pemilihan Tindakan/*Maintenance Task*.

F. Pemilihan Tindakan/*Maintenance Task*

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa RCM. Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang efektif. Proses analisa ini akan menentukan tindakan perawatan yang tepat untuk mode kerusakan tertentu. selain itu bila biaya untuk melakukan tindakan melebihi biaya yang diakibatkan mode kerusakan, maka mode kerusakan ini masuk dalam RTF. Tahap akhir dari proses *maintenance task* adalah menentukan akibat dari mode kerusakan terhadap tiga tingkatan yaitu akibat kerusakan lokal, akibat kerusakan sistem, dan akibat kerusakan fasilitas, kerusakan tersebut akan dibuat pada *work sheet*.

Road map pemilihan tindakan dengan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Jika tugas pencegahan secara teknis tidak menguntungkan untuk dilakukan, tindakan standar yang harus dilakukan bergantung pada konsekuensi kegagalan yang terjadi.

Jika tindakan pencegahan tidak dapat mengurangi resiko terjadinya kegagalan majemuk sampai suatu batas yang dapat diterima, maka perlu dilakukan tugas menemukan kegagalan secara berkala. Jika tugas menemukan kegagalan berkala tersebut tidak menghasilkan apa-apa, maka keputusan standard selanjutnya yang wajib dilakukan adalah mendesain ulang sistem tersebut (tergantung dari konsekuensi kegagalan majemuk yang terjadi).

Jika tindakan pencegahan tidak dapat mengurangi resiko terjadinya kegagalan yang dapat mengancam keselamatan ataupun dampak lingkungan sampai batas aman, maka

sebaiknya dilakukan desain ulang maupun perubahan terhadap sistem tersebut. Jika tindakan pencegahan dilakukan, akan tetapi biaya proses total masih lebih besar dari pada jika tidak dilakukan, yang dapat menyebabkan terjadinya konsekuensi operasional, maka keputusan awalnya adalah tidak perlu dilakukan *maintenance* terjadwal (jika hal ini telah dilakukan dan ternyata konsekuensi operasional yang terjadi masih terlalu besar, maka sudah saatnya untuk dilakukan desain ulang terhadap sistem).

Jika dilakukan tindakan pencegahan, akan tetapi biaya proses total masih lebih besar dari pada jika tidak dilakukan tindakan pencegahan, yang dapat menyebabkan terjadinya konsekuensi non operasional, maka keputusan awalnya adalah tidak perlu dilakukan *maintenance* terjadwal, akan tetapi apabila biaya perbaikannya terlalu tinggi, maka sekali lagi sudah saatnya dilakukan desain ulang terhadap sistem.

G. Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis merupakan teknik untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem dengan memakai FT (*fault tree*) yang diperkenalkan pertama kali pada tahun 1962 oleh Bell Telephone Laboratories dalam kaitannya dengan studi tentang evaluasi keselamatan sistem peluncuran minutan antar benua. *Boeing company* memperbaiki teknik yang dipakai oleh *Bell Telephone Laboratories* dan memperkenalkan program komputer untuk melakukan analisa dengan memanfaatkan FT baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif.

FTA (*Fault Tree Analysis*) berorientasi pada fungsi (*function oriented*) atau yang lebih dikenal dengan "*top down approach*" karena analisa ini berawal dari system level (*top*) dan meneruskannya ke bawah (*down*). Titik awal dari analisa ini adalah mengidentifikasi mode kegagalan

fungsional pada *top level* dari suatu sistem atau subsistem.

FTA adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu sistem engineering. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem engineering dan probabilitas terjadinya *event* tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *TOP event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada *TOP event*. *Fault Tree* adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

Setelah mengidentifikasi *TOP event*, *event-event* yang memberi kontribusi secara langsung terjadinya *top event* diidentifikasi dan dihubungkan ke *TOP event* dengan memakai hubungan logika (*logical link*). Gerbang AND (*AND gate*) dan sampai dicapai *event* dasar yang independen dan seragam (*mutually independent basic event*). Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *TOP event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logika gate*).

H. Menentukan Laju Kegagalan

Untuk laju kegagalan (λ) menyatakan jumlah kegagalan dalam suatu interval waktu tertentu, biasanya dinyatakan dengan jumlah kegagalan per satuan waktu. Sedangkan *MTBF* (*Mean Time Between Failure*) adalah waktu rata-rata di antara dua kegagalan. Keandalan atau *reliability* (*R*) menyatakan peluang bahwa suatu produk atau sistem bisa menjalankan fungsinya selama suatu periode waktu tertentu.

Laju kegagalan dan *MTBF* (*Mean Time Between Failure*) adalah hal penting untuk dapat menentukan nilai kehandalan dimana dalam menentukan nilai laju kegagalan dapat diestimasi (*Mitchell O. Locks, Singapore, : Topan 1996, hal 83*) sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah Kegagalan}}{\text{Total Jam Operasi}}$$

Sementara dalam menentukan nilai *Mean Time Between Failure* (*MTBF*) kita dapat mengestimasi dengan kalkulasi berikut :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

Setelah kita mengetahui nilai *failure rate* dan *MTBF* maka dengan itu kita dapat mengestimasi nilai *reliability* sebagai berikut :

$$R(t) = e^{-(\text{tingkat kegagalan}) \cdot (\text{total waktu operasi})}$$

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

I. Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang digunakan untuk mentransferkan fluida inkompresibel atau fluida cair dengan menambahkan energi ke dalam fluida tersebut. Sesuai hukum kekekalan, energi tidak dapat diciptakan atau di musnahkan, energi hanya dapat berubah.

Pompa mengubah energi kinetik atau putaran ini menjadi tekanan yang dibuktikan dengan fluida yang keluar dari pompa memiliki tekanan lebih besar dari saat masuk. Energi yang ada didalam fluida dapat berupa : *head static* (tekanan); *head kinetic* (kecepatan) dan *head potensial* (ketinggian).

J. Pompa Sentrifugal (*Centrifugal Pump*)

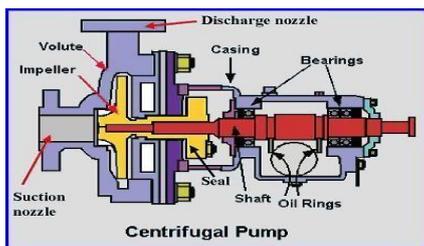
Pompa ini digerakkan oleh motor. Daya dari *motor* diberikan pada poros pompa untuk memutar *impeller* yang dipasangkan pada poros tersebut. Akibat dari putaran *impeller* yang menimbulkan gaya sentrifugal, maka zat cair akan mengalir dari tengah *impeller* keluar lewat saluran di antara sudut-sudut dan

meninggalkan *impeller* dengan kecepatan yang tinggi.

Zat cair yang keluar dari *impeller* dengan kecepatan tinggi kemudian melalui saluran yang penampangnya semakin membesar yang disebut *volute*, sehingga akan terjadi perubahan dari *head* kecepatan menjadi *head* tekanan. Jadi zat cair yang keluar dari *flens* keluar pompa *head* totalnya bertambah besar. Sedangkan proses pengisapan terjadi karena setelah zat cair dilemparkan oleh *impeller*, ruang diantara sudu-sudu menjadi vakum, sehingga zat cair dapat terisap masuk.

K. Komponen utama Pompa Sentrifugal

Secara umum pompa sentrifugal tersusun atas beberapa bagian penting dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Komponen Pompa Sentrifugal

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi merupakan suatu langkah yang digunakan dalam menyelesaikan persoalan dengan mengumpulkan, mencatat dan menganalisa seluruh data yang dimiliki. Metodologi adalah salah satu langkah awal dari pembuatan suatu karya ilmiah yang menuntut penyusunannya secara sistematis.

Berikut merupakan langkah- langkah dari pembuatan mesin tersebut.

1. Studi literature dan lapangan
Studi ini merupakan tahap awalan dalam perancangan. Bertujuan untuk mengetahui rumus dan fungsi akhir mesin dirancang.

2. Konsep perancangan
Tahap ini merupakan tahap perhitungan-perhitungan komponen-komponen yang akan digunakan.
3. Membuat gambar perancangan
Pada tahap ini kami menggambar bentuk mesin dengan menggunakan autocad.
4. Persiapan alat dan bahan
Persiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk membuat rangkaian mesin..
5. Perakitan mesin
Rakit semua alat dan bahan yang telah disediakan sesuai gambar yang telah dibuat.
6. Pengujian
Setelah selesai dirakit maka mesin akan diuji coba, apabila pada pengujian gagal makan kembali pada proses perancangan, menghitung kembali komponen-komponen yang digunakan. Namun, jika sudah bagus atau ok maka lanjut membuat kesimpulan dan selesai.

Prinsip Kerja PLTPH

Prinsip kerja PLTPH merupakan pemanfaatan perbedaan tinggi jatuh air dengan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran air terjun atau aliran sungai. Air yang mengalir melalui masukan diteruskan oleh saluran pembawa sampai pada keluaran yaitu *nozzle*, yang kemudian akan memutar inti poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik yang kemudian akan menghasilkan energy potensial. Turbin air memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Perhitungan Komponen Inti PLTPH

Tabel 1. Spesifikasi Pompa Booster

No	Spesifikasi	Nilai
1	Daya Dorong	23 m
2	Kapasitas	85 l/min
3	Power Input	375 watt
4	V/Hz/Phi	220/50/1
5	RPM	2850

6	Ukuran Pipa	1 inci
---	-------------	--------

1. Diameter Nozel

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{Cd \cdot \pi \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}}$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00142 \text{ m}^3/\text{det}}{0,98 \times 3,14 \sqrt{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{det}^2} \times 23 \text{ m}}}}$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00142 \text{ m}^3/\text{det}}{0,98 \times 3,14 \times 21,24 \text{ m}/\text{det}}}$$

$$d_n = 9,32 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_n = 9,32 \text{ mm}$$

2. Daya Turbin

$$P_{\text{turbin}} = \rho \times g \times Q \times h \times n_t$$

$$P_{\text{turbin}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/det} \times 0,00142 \text{ m}^3/\text{det} \times 23 \text{ m} \times 0,95$$

$$P_{\text{turbin}} = 304,37 \text{ watt}$$

3. Putaran Turbin

$$n_s = \frac{54}{D}$$

$$n_s = \frac{54}{16}$$

$$n_s = 3,3 \text{ rpm}$$

$$N_1 = \frac{n_s \cdot h^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

$$N_1 = \frac{3,3 \text{ rpm} \times (75,46 \text{ feet})^{5/4}}{\sqrt{0,408 \text{ hp}}}$$

$$N_1 = 1150 \text{ Rpm}$$

4. Diameter Runner

$$u = \varphi \sqrt{2gh}$$

$$u = 0,48 \sqrt{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{det}^2} \times 23 \text{ m}}$$

$$u = 10,1965 \text{ m/det}$$

$$u = 10196,5 \text{ mm/det}$$

$$d_r = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot N_1}$$

$$d_r = \frac{60 \cdot 10196,5 \text{ mm}}{3,14 \times 1150 \text{ rpm}}$$

$$d_r = 169,4 \text{ mm}$$

5. Jumlah Sudu

$$Z = \frac{\pi \cdot d_r}{2 \cdot d_n}$$

$$Z = \frac{3,14 \times 180 \text{ mm}}{2 \cdot 10 \text{ mm}}$$

$$Z = 28,26 \text{ buah}$$

6. Perhitungan Transmisi

Tabel 2. Spesifikasi Generator

No	Spesifikasi	Nilai
1	Daya	250 Watt
2	Putaran	2650 Rpm
3	Efisiensi	0,8
4	Jenis Arus	DC

Diameter Puli

$$d_p \times n_1 = D_p \times n_2$$

$$d_p \times 1150 \text{ rpm} = 1,5 \text{ inci} \times 2650 \text{ rpm}$$

$$d_p = 3,5 \text{ inci} \approx 4,5 \text{ inci}$$

$$d_p = 114,3 \text{ mm}$$

Jarak sumbu poros Puli

$$C = (1,5-2)d_p$$

$$C = 2 \times d_p$$

$$C = 2 \times 4,5 \text{ inci}$$

$$C = 9 \text{ inci} = 228,6 \text{ mm}$$

Panjang Sabuk

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(d_p + D_p) + \frac{1}{4C}(D_p - d_p)^2$$

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(d_p + D_p) + \frac{1}{4C}(D_p - d_p)^2$$

$$L = 2 \times 228,6 + \frac{3,14}{2}(114,3 + 38,1) + \frac{1}{4 \times 228,6}(38,1 - 114,3)^2$$

$$L = 702,8 \text{ mm}$$

Jarak Sumbu Poros yang digunakan

$$b = 2L - 3,14(D_p + d_p)$$

$$b = 2 \times 711 - 3,14(38,1 + 114,3)$$

$$b = 943,4 \text{ mm}$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(D_p - d_p)^2}}{8}$$

$$C = \frac{943,4 + \sqrt{943,4^2 - 8(38,1 - 114,3)^2}}{8}$$

$$C = 232,7 \text{ mm}$$

a. Sudut Kontak Sabuk

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(D_p - d_p)}{C}$$

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(38,1 \text{ mm} - 114,3 \text{ mm})}{228,6 \text{ mm}}$$

$$\theta = 180^\circ + 19$$

$$\theta = 161^\circ$$

7. Perhitungan Poros

Tabel 3. Faktor Koreksi

Daya Yang Akan Ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 - 2,0

Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

a. Daya Poros

$$P_d = f_c \times P$$

$$P_d = 2 \times 304,37 \text{ watt}$$

$$P_d = 608,74 \text{ watt} = 0,60874 \text{ Kw}$$

b. Torsi Poros

$$\text{Torsi} = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{N_t}$$

$$\text{Torsi} = 9,74 \times 10^5 \frac{0,60874 \text{ Kw}}{1150 \text{ rpm}}$$

$$\text{Torsi} = 513,46 \text{ kgmm}$$

c. Diameter Izin Poros

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{SF_1 \times SF_2}$$

$$\tau_a = \frac{48 \text{ kg/mm}^2}{6,0 \times 2,0}$$

$$\tau_a = 4 \text{ kg/mm}^2$$

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} (K_t \cdot C_b \cdot T) \right]^{1/3}$$

$$d_s = \left[\frac{5,1}{4} (1,5 \times 2,0 \times 513,45) \right]^{1/3}$$

$$d_s = 12,5 \text{ mm}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Urutan Proses Perakitan

Adapun proses perakitan mesin PLTPH ini sebagai berikut:

1. Buat rangka sesuai dengan gambar;
2. Potong pipa el-bow sesuai ukuran pada perancangan menggunakan gerinda mini;
3. Lalu lubangi runner turbin sesuai desain menggunakan bor duduk;
4. Setelah itu satukan el-bow/sudu dengan runner;
5. Lalu kunci dengan baut hingga ketat;
6. Kemudian bubut poros sesuai gambar;
7. Lalu setelah selesai satukan runner ke poros dan kunci menggunakan baut;
8. Pasang pompa pada rangka;
9. Pasang pipa penghubung dan nozel;
10. Buatlah rumah turbin;
11. Kemudian satukan poros dengan bearing diameter 19 mm;
12. Kemudian ikat bearing pada rangka;

13. Kemudian masukkan puli pada poros;
14. Pasang generator pada tempat yg sudah disediakan;
15. Kemudian atur keketatan sabuk lalu kunci baut pada generator;
16. Setelah itu rakit kabel output generator ke saklar dan ke lampu.

Perawatan dan Perbaikan Mesin

Untuk mencapai kesempurnaan dan kinerja mesin yang baik maka perlu sekali di butuhkan kesiapan mesin (peralatan) yang di gunakan untuk mengoptimalkan agar mesin atau peralatan tidak megganggu dalam sistem pengoperasian maka di perlukan suatu cara yang disebut pemeliharaan (perawatan).

Tujuan utama dari sistem perawatan adalah sebagai berikut :

- a. Agar mesin atau peralatan yang di gunakan dalam keadaan siap pakai secara optimal untuk menjamin kelancaran proses kerja mesin.
- b. Untuk memperpanjang usia mesin.
- c. Untuk menjamin keselamatan operator dalam menggunakan mesin atau peralatan.
- d. Untuk mengetahui kerusakan mesin sedini mungkin sehingga dapat mencegah kerusakan yang sangat fatal.

Perbaikan (*reparasi*) adalah pekerjaan yang di lakukan untuk memperbaiki ataupun mengganti komponen yang rusak yang dapat mengakibatkan peralatan tidak berfungsi dengan baik. Umumnya perbaikan ini penyelesaiannya sederhana. Ada dua jenis dalam melakukan perbaikan yaitu

- a. Inspeksi
Yang tergolong dalam kategori inspeksi antara lain:
 - 1) Membersihkan bagian permukaan dari debu
 - 2) Melakukan pengecekan pada bagian - bagian mesin.
 - 3) Mengecek baut-baut pengikat dan bila perlu melakukan

penggantian baut-baut yang telah mengalami kerusakan dengan yang baru.

b. Perbaiki Ringan

dilakukan jika terjadi kerusakan misalnya mengganti dua atau tiga bagian yang rusak seperti bagian baut pengikat dan lain-lainnya.

SIMPULAN

Dari Hasil Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) dan uji coba yang dilakukan, maka dapat diambil suatu kesimpulan, yakni:

1. Pada dasarnya prinsip kerja dari Prototipe PLTPH adalah memanfaatkan energi potensial dari air yang diubah turbin menjadi energi kinetik dan akhirnya diubah menjadi energi listrik oleh generator.
2. Daya keluaran yang dihasilkan dari prototipe ini didapatkan dari keluaran generator tanpa beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Sato, Takeshi dan N. Sugianto. 1986 Menggambar Mesin Menurut Standar ISO. Paradnya Paramita. Jakarta:
- Suga, Kiyokatsu dan Sularso. 2004. Dasar perencanaan dan Pemilihan Elemen mesin. PT Pradnya Paramita. Jakarta:
- R.K Rajput. 2002. A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulis Machines, Second Edition new delhi. S.Chand & Company Ltd.
- Prihandono, Teguh. 2004. Perancangan dan Pembuatan Turbin Pelton. Dspace UII, 5(3), 1-14.
- Sitompul, Advendo Wibowo. 2011. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Turbin Pelton. Repository, 1-82.
- Irawan. Dwi. Eko Nugroho dan Eko Widiyanto. 2020. Pengaruh Jumlah Nozzle Terhadap Kinerja Turbin Pelton Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Sumber Agung Kecamatan Suoh kabupaten Lampung Barat. Turbo, 9(2), 1-5.