

Pemeliharaan Preventif Pompa Vakum STG PLTGU Unit 1 Tambak Lorok Semarang

Win Alfalah¹; Jasmid Edy²; Yunanto Wisnu³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknik PLN

¹winalfalah@sttpln.ac.id

²jasmidedy@sttpln.ac.id

³yunanto.wisnu@gmail.com

ABSTRACT

To increase the efficiency of condensation on the PLTGU (Gas and Steam Power Plant) a low pressure in condenser is needed, so steam moves faster toward the condenser because high pressure difference. To reduce pressure in the condenser, a vacuum pump is used. Vacuum pump engine maintenance in this study is in form of preventive maintenance (repairs carried out with the schedule scheduled by the component factory and/or by user experience), etc. This is because maintenance that is considered to be affordable both in terms of cost and field implementation in our country for power plants currently is preventive maintenance. What will be discussed here is preventive maintenance at the vacuum pump unit 1 of PT Indonesia Power PLTGU Tambak Lorok, Semarang. This discussion covers details of the vacuum pump preventive maintenance of each components, causal relationship of damage to causes, detailed analysis of the damage causes to vacuum pump components, etc.

Keywords: *vacuum pump, steam gas power plant, condenser, preventive maintenance, vacuum pump components, damage*

1. PENDAHULUAN

Prinsip kerja pada PLTGU Tambak Lorok tidak jauh berbeda dengan PLTU. Perbedaannya adalah PLTGU Tambak Lorok memiliki pemanas air laut yang sumber panasnya bukan bahan bakar melainkan menggunakan panas dari gas buang yang diberikan dari *Combuster* pada PLTG.

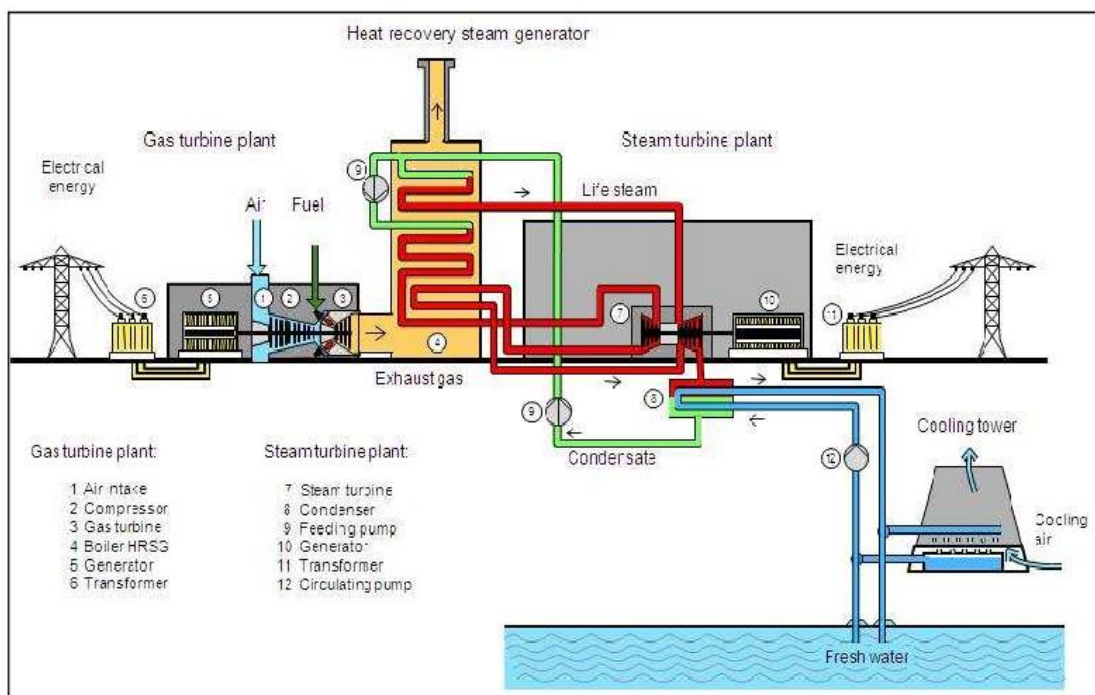
Awal mula-mula udara dimasukkan ke dalam kompresor dengan melalui air filter/penyaring udara agar partikel debu tidak ikut masuk ke dalam kompresor. Setelah itu, tekanan udara dinaikkan lalu dialirkan ke ruang bakar (*combustor*) bersama bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar gas dan HSD (*High Speed Diesel*). Setelah tekanan panas dari pembakaran bahan bakar memutar turbin gas, gas buang disalurkan menuju HRSG dengan melewati *Diverter Dumper* sebagai penghubung ke HRSG. Gas buang pada HRSG masing memiliki suhu yang tinggi sekitar 500° C. Dan panas dari gas inilah yang digunakan untuk memasak air pada HRSG sehingga menjadi uap panas bertekanan.

2. KAJIAN LITERATUR DAN PENGEMBANGAN HIPOTESIS

2.1. Kondensor

Pada PLTU maupun PLTGU pasti memiliki system konsensasi atau yang sering diartikan dengan merubah uap bekas dari LP *Steam Turbine* menjadi air kondensat yang nantinya di panaskan untuk menjadi uap kembali. Perpindahan panas merupakan suatu fenomena yang sangat lazim terjadi pada pembangkit yang memanfaatkan uap panas.

2.2. Pompa Vakum

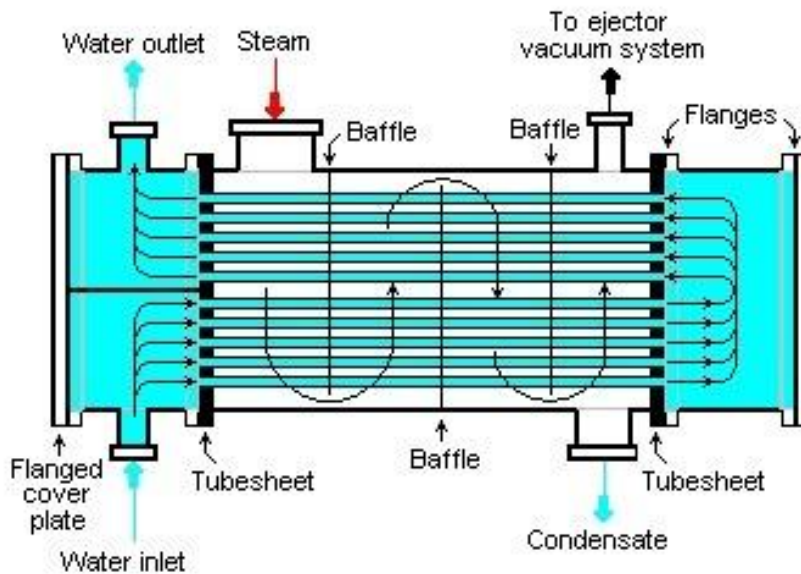


Gambar 1. Siklus PLTGU

(Sumber: Pengetahuan mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap)

Pompa vakum adalah sebuah alat untuk mengeluarkan molekul - molekul gas dari dalam sebuah ruangan tertutup untuk mencapai tekanan *Exchanger*. Dua media yang memiliki kandungan energi panas yang berbeda bertemu pada

kondensor. Kondensor adalah salah satu alat yang menggunakan prinsip *heat exchanger* yang dimana kondensor berfungsi untuk *cycle* karena



Gambar 2. Proses uap dan air pada kondensor (Rakhman, 2018)

mengkondensasikan uap air yang berasal dari turbin uap sehingga berubah fase menjadi cair kembali. Kondensor menjadi salah satu komponen yang paling penting pada *water steam* pada alat ini terjadi perpindahan panas yang masih terkandung pada uap air menuju media pendingin seperti air laut atau air vakum. Pompa vakum menjadi salah satu komponen penting di beberapa industri besar seperti pabrik lampu, vacuum coating pada kaca, pabrik komponen-komponen elektronik, pemurnian oli, bahkan hingga alat - alat kesehatan seperti radiotherapy, radiosurgery dan radiopharmacy.

Pompa vakum membuat kondensor menjadi bertekanan rendah. Fluida yang mengalir pada pompa vakum berfungsi untuk mengikat gas-gas yang masuk melalui suction connection. Dengan begitu gas / uap yang sudah di isap Pompa vakum akan mengalir melewati Cone dan Impeller dan di buang pada discharge connection. Maka ruangan yang dipasangkan Pompa vakum akan mengalami kondisi vakum (hampa udara).



Gambar 3. Pompa vakum

2.2.1. Prinsip Kerja Pompa Vakum

1. Positive Displacement: menggunakan cara mekanis untuk mengekspansi sebuah volume secara terus-menerus, mengalirkan gas melalui pompa tersebut, men-sealing ruang volume sistem, dan membuang gas ke atmosfer.
2. Pompa Momentum Transfer: menggunakan sistem jet fluida kecepatan tinggi, atau menggunakan sudu putar kecepatan tinggi untuk menghisap gas dari sebuah ruang tertutup.
3. Pompa Entrapment: menggunakan suatu zat padat atau zat adsorber tertentu untuk mengikat gas di dalam ruangan tertutup.

Pada proyek akhir ini, jenis pompa vakum yang dibahas adalah *liquid ring vacuum pump* (LRVP). LRVP memiliki prinsip *positive displacement* yang artinya menggunakan cara mekanis untuk mengekspansi volume secara continue dan mengalirkan gas melalui suction connection kemudian di sealing oleh liquid dan kemudian di buang ke discharge connection.

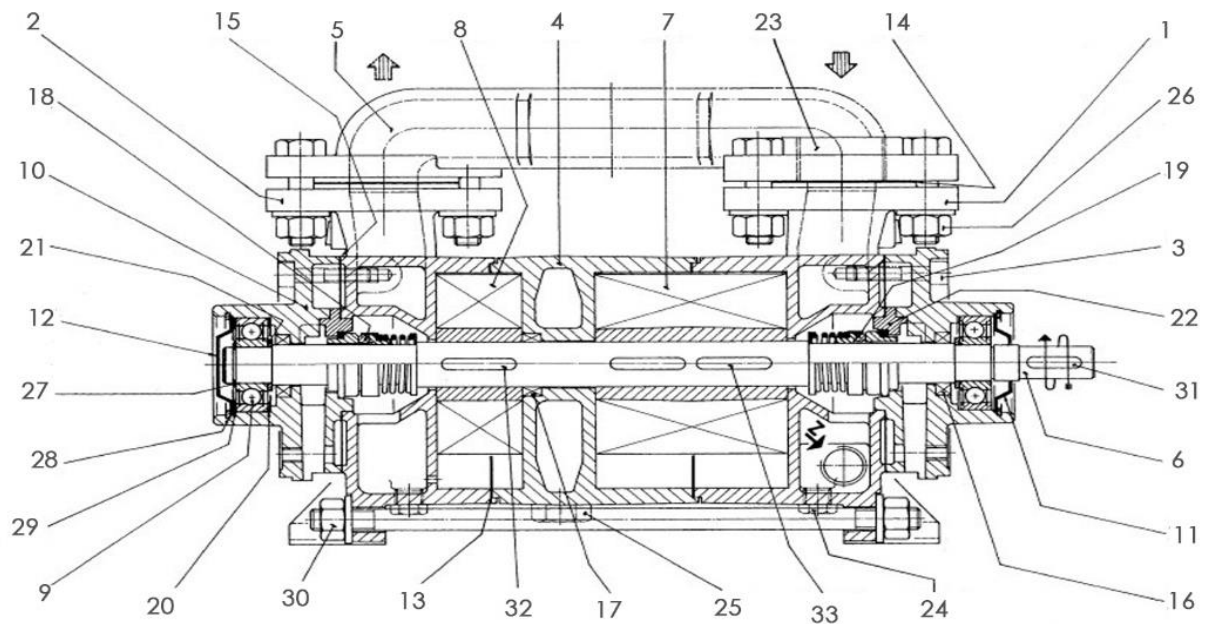
2.2.2. Konstruksi Pompa Vakum

Tidak hanya pada bentuk fisik, perbedaan antara pompa biasa dengan pompa vakum juga ada pada konstruksinya. Walaupun dasar kontruksi pompa ada pada masing-masing pompa, pompa vakum memiliki beberapa bagian / komponen yang tidak dimiliki pompa umum. Dan di bawah ini konstruksi pompa vakum *Liquid Ring Two Stage*:

A. Konstruksi gambar belahan Pompa vakum *Liquid Ring Two Stage*

Penjelasan setiap nomer yang di tunjukan pada gambar:

1. Suction Casing
2. Discharge Casing
3. Mechanical Seal
4. Intermediate Element
5. Manifold
6. Shaft
7. First Stage Impeller
8. Second Stage Impeller
9. Ball Bearing
10. Bearing And Mechanical Seal Housing
11. First Stage Bearing Cover
12. Second Stage Bearing Cover
13. Gasket
14. Packing
15. Flat Valve
16. First Stage Radial Seal Ring
17. Second Stage Radial Seal Ring
18. First Stage Bearing
19. Second Stage Bearing
20. Shoulder Ring 1
21. Shoulder Ring 2
22. Seal Bush
23. Companion Flange
24. Plug
25. Plug
26. Bolt
27. Circlip
28. Circlip
29. Elastic Ring
30. Tie Bolt
31. Spi
32. Spi



Gambar 4. Gambar belahan pompa vakum *liquid ring two stage*

2.2.3. Komponen - Komponen Pompa Vakum

Sama seperti pompa pada umumnya *vacuum pump*, memiliki komponen utama yang berfungsi agar pompa bekerja dengan efisien. Pada setiap pompa memiliki bagian-bagian penting yang perlu diperhatikan. Berikut adalah komponen utama pada *liquid ring vacuum pump*:

Berikut penjelasan mengenai nama komponen yang tertera pada gambar :

a. Shaft (Poros)

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian – bagian berputar lainnya.

b. Vacuum Pump First Stage Inlet

Vacuum pump first stage inlet adalah saluran masuk nya gas / uap yang ada pada kondensor. atau bisa dikatakan sebagai Suction nozzle yaitu sebagai sisi isap bagi gas / uap. Ada 2 inlet stage pada Vacuum Pump First Stage Inlet yaitu:

- Floating (free) Bearing End Head
- Floating (locked) Bearing End Head

c. First Stage Floating Bearing End Cone

First stage floating bearing end cone adalah bearing cone (kerucut) yang berfungsi sebagai penjebak fluida gas yang mengalir dari first stage inlet. Cone pada *vacuum pump* di buat memiliki celah pada selimut permukaan kerucutnya. Fungsi celah tersebut sebagai jalan masuk fluida gas menuju first stage impeller. Berputarnya poros pada pompa membuat kerucut berfungsi sebagai perangkap fluida gas pada *vacuum pump*.

d. First Stage Rotor

Ketika rotor penggerak ini berputar maka rotor yang digerakkan akan ikut berputar bersama-sama. Karena posisi antara rotor penggerak dan yang digerakkan offset, ada perubahan besar volume ruang yang dihasilkan ketika rotor berputar.

e. First Stage Body

First stage body adalah ruangan tempat impeller dan proses kombinasi liquid bekerja pada tahap pertama.

f. Second Stage Bracket

Paking yang berfungsi untuk memperapat gabungan first stage dengan second stage dan menahan kebocoran dari kedua fluida (air dan gas).

g. Second Stage Rotor

Fungsi kerjanya sama dengan rotor yang sama dengan first stage. Yang membedakan adalah pada tahapnya. Pada tahap kedua, fluida gas dan air dikombinasi dengan impleller yang berbeda. Second stage berfungsi untuk memaksimalkan vakum dan membuangnya pada discharge nozzle.

h. Second Stage Lobe

Second stage lobe terletak antara shaft/poros yang berputar dengan casing atau bearing yang diam.

i. Second Stage Cone

Second stage cone (celah) sebagai jalan masuk fluida gas menuju second stage impeller. Berputarnya poros pada pompa membuat kerucut berfungsi sebagai perangkap fluida gas pada *Vacuum Pump*.

j. Second Stage Discharge Manifold

Second stage discharge manifold adalah outlet dari proses pengolahan fluida pada First stage dan Second Stage. Discharge menuju ke separator pemisah air dan gas.

k. Interstage Check Valve

Interstage check valve adalah alat yang digunakan untuk membuat aliran fluida hanya mengalir ke satu arah saja atau agar tidak terjadi reversed flow/back flow untuk mengalirkan fluida hanya ke satu arah dan mencegah aliran ke arah sebaliknya tidak menggunakan handel untuk mengatur aliran, tapi menggunakan gravitasi dan tekanan dari aliran fluida itu sendiri.

l. Discharge Gas

Maksud dari Discharge Gas sama dengan Discharge nozzle berfungsi untuk mengeluarkan fluida dari impeller.

2.2.4. Gangguan pada Pompa Vakum

Pompa vakum *liquid ring* dan kompresor adalah mesin yang berputar. Mereka beroperasi sesuai dengan prinsip positif displacement. Dalam mesin ini, *liquid* atau air dibuat untuk bertindak sebagai piston. Cairan yang digunakan pada umumnya adalah air, dan cairan ini yang berfungsi sebagai pengikat gas saat proses sealing pada house pompa. Pompa hampir tidak membutuhkan perawatan kecuali untuk pelumasan *bearing*. Umumnya, dalam hal pelumasan pada *Bearing*, dianjurkan untuk melumasi bagian dalam *Bearing* dan luar seperti yang direkomendasikan.

Namun, jika kotoran atau benda padat (misalnya pasir) atau endapan kapur masuk ke dalam pompa melalui cairan operasi dan / atau gas yang dipompa, maka perlu untuk membersihkan pompa secara berkala untuk mencegah impeller dari macet.

2.3. Kavitasi

Kavitasi adalah suatu proses atau fenomena perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga di bawah tekanan uap jenuhnya. Pada pompa, bagian yang sering mengalami kavitasi adalah sisi hisap pompa, misalnya air pada tekanan 1 atm akan mendidih dan menjadi uap pada suhu 100 derajat Celsius.

Pada pompa, kavitasi sering terjadi pada sisi suction/isap. Adapun akibat dari fenomena ini antara lain:

1. Suara berisik, getaran atau kerusakan komponen pompa saat gelembung-gelembung fluida tersebut pecah ketika melalui daerah yang lebih tinggi tekanannya menghasilkan kikisan – kikisan ukuran sangat kecil, tetapi karena jumlahnya gelembungnya banyak dan berulang – ulang, maka kerusakannya berarti.
2. Kapasitas pompa menjadi berkurang
3. Pompa tidak mampu membangkitkan head (tekanan)
4. Berkurangnya efisiensi pompa

2.4. Vibrasi

Vibrasi adalah gerakan osilasi (bolak balik) yang berulang dari bagian suatu mesin (suatu benda) yang elastis dari posisi kesetimbangan statisnya (posisi diam) pada interval tertentu jika kesetimbangan tersebut terganggu oleh adanya momen gaya gerakan badan mesin. Vibrasi atau getaran yang ditimbulkan oleh peralatan yang berputar semisal motor, pompa, fan dan sejenisnya akan memberikan petunjuk tentang kondisi dari peralatan tersebut,

Secara umum penyebab terjadinya anomali getaran pada sebuah peralatan yang berputar adalah sebagai berikut:

- Unbalance atau imbalance
- Misalignment
- Variasi beban
- Clearance Mechanical looseness
- Kerusakan pada gigi
- Kerusakan pada bearing
- Masalah pada kelistrikan
- Gesekan (rubbing)

2.5. Pemeliharaan dan Diagnosa Kegagalan pada Pompa Vakum

Dari banyak sistem perawatan pada pompa, di antaranya ada 3 macam yaitu (Gusniar, 2014):

1. *Routine Maintenance*: Merupakan inspeksi harian terhadap peralatan yang terpasang dan dalam keadaan beroperasi. Hal ini dilakukan agar gejala-gejala kerusakan dapat segera diketahui, sehingga kerusakan dapat segera diketahui, sehingga kerusakan yang lebih fatal dapat dihindari.
2. *Predictive Maintenance*: Merupakan tindakan perawatan yang bersifat pengamatan terhadap objek dengan melakukan pengukuran-pengukuran tertentu.
3. *Preventive Maintenance*: Merupakan perawatan yang sifatnya berupa pencegahan dan dilakukan secara rutin sesuai jadwal yang telah ditentukan yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan dan memperpanjang umur peralatan.

Diagnosis kondisi pompa vakum selalu termasuk komponen getaran dari pompa vakum untuk mendiagnosa kondisi. Pompa vakum digerakkan oleh motor. Saat kondisi mesin berputar, getaran

sinyal harus dimasukkan ke data pengamatan. Selain itu, komponen – komponen berfrekuensi getaran tinggi dari rotor berputar. Komponen – komponen ring juga bergetar dengan frekuensi tinggi. Pengukuran getaran untuk menentukan status operasi bagian - bagian komponen pompa vakum (Cheung, 2015). Selain itu, filter tersumbat, kebocoran dari fitting atau koneksi, selang retak atau tertekuk, pemeriksaan katup – katup, sabuk longgar atau using dan nozel using juga dapat menjadi hal – hal yang harus diperhatikan saat mendiagnosa kegagalan pompa.

Setelah menunjukkan kemampuan untuk menentukan tingkat degradasi pompa pada suatu saat tertentu, informasi yang paling berguna bagi pengguna adalah perkiraan dari RUL (remaining useful life/waktu pakai yang tersisa) pompa. Ini memungkinkan untuk perencanaan penggantian pompa dalam jangka waktu yang memungkinkan dan gangguan minimal terhadap operasional pengguna pompa. Dalam menentukan RUL (waktu pakai yang tersisa) pompa, ada sejumlah faktor yang tidak dapat digolongkan apriori, seperti jadwal pompa ke depannya, seperti lamanya akan tidak digunakan dan lamanya akan digunakan dan berapa kali pompa dimatikan dan dihidupkan ulang yang dapat mempengaruhi RUL (waktu pakai yang tersisa) (Butler dkk., 2009).

Pada kasus lain, pompa diamati memiliki getaran yang tidak semestinya selama pemeriksaan rutin dari semua peralatan yang sedang berjalan. Pengamatan dicatat dalam buku catatan untuk melakukan pemantauan kondisi menyeluruh sebelum terjadi kerusakan besar. Tim pemeliharaan preventif meminta untuk mematikan pompa tersebut dan membebarkannya pada analisis minyak, analisis inframerah, analisis partikel minyak dan analisis getaran. Akan tetapi, dari semua teknik hanya analisis vibrasi yang mampu memberikan jawabannya (Ganapathy dkk., 2014).

Pada kasus lainnya, kecepatan putaran melebihi batas di semua tiga sumbu. Kesalahan telah diidentifikasi sebagai ketidaksejajaran bearing. Perataan bantalan mengurangi intensitas kecepatan (Rao dkk., 2012). Pada kasus lainnya, penentuan pemeliharaan suatu system produksi ditentukan dari mesin kritis adalah mesin yang mengalami frekuensi kerusakan terbesar dengan total downtime terbesar. Downtime adalah lamanya suatu mesin tidak bisa digunakan. Untuk penentuan mesin kritis ini, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mengukur lamanya waktu downtime produksi dari tiap - tiap mesin yang ada. Sehingga dengan demikian akan diketahui mesin yang mengalami total downtime terbesar. Inilah yang merupakan mesin kritis. Begitu pula cara untuk menentukan komponen kritis (Nandiroh dkk, 2006).

Sesuai dengan yang telah diuraikan sebelumnya, *preventive maintenance* merupakan perawatan yang sifatnya berupa pencegahan dan dilakukan secara rutin sesuai jadwal yang telah ditentukan yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan dan memperpanjang umur peralatan. Pemakaian sistem preventive maintenance pada suatu perusahaan akan lebih menguntungkan daripada menggunakan sistem breakdown maintenance (Baringbing dkk, 2013).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Dibuatnya metode penelitian berguna untuk mempermudah penulis untuk merumuskan teknik membuat penelitian yang baik dan benar. Karena pada metode penelitian terdapat langkah - langkah untuk membuat penelitian. Dalam pembuatan proyek akhir ini penulis menggunakan metode deskriptif, metode ini biasa digunakan pada penulisan fakultas teknik. Pada penulisan proyek akhir ini penulis ingin menyampaikan Analisa yang telah didapat selama dilakukannya penelitian di PT Indonesia Power UP Semarang. Dengan proyek akhir yang berjudul “Pemeliharaan *Preventive* Pompa vakum STG Unit 1 Tambak Lorok Semarang” penulis ingin menunjukan data-data yang telah dikumpulkan yang akan disampaikan dengan metode deskriptif.

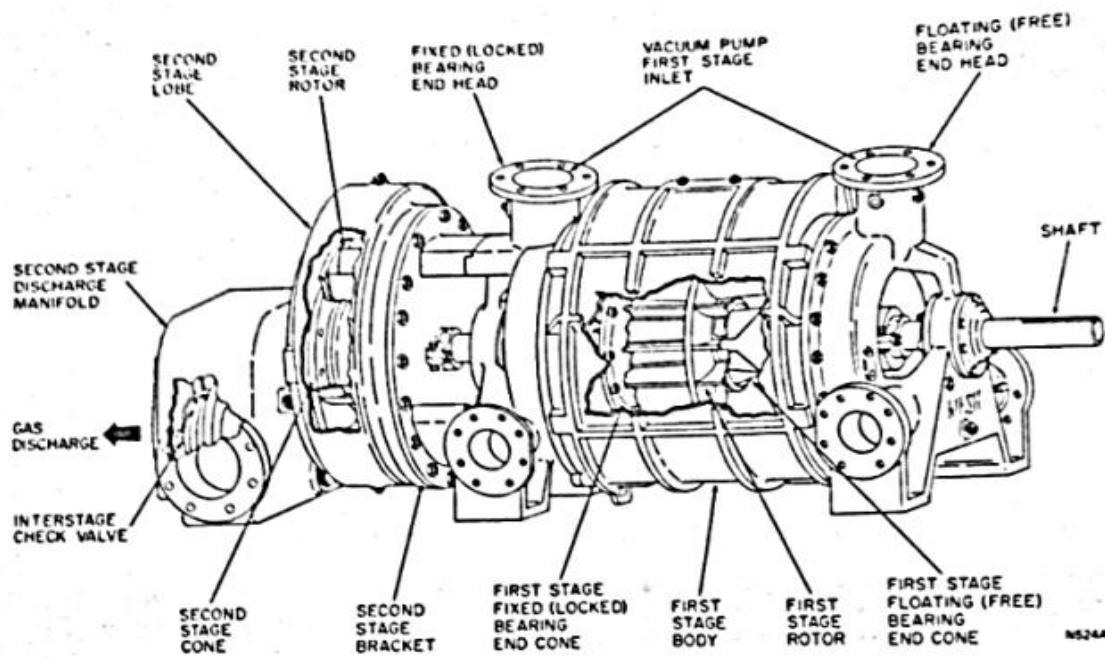
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu dilaksanakannya penelitian tanggal 21 September 2017 – 31 Mei 2018. Lokasi penelitian yaitu di PT Indonesia Power UP Semarang Jl. Ronggowarsito, Tanjung Mas, Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah.

4. PEMBAHASAN

4.1. Pompa Vakum

Pompa vakum atau *vacuum pump* adalah pompa yang berfungsi untuk memvakum suatu ruangan tertutup dengan metode mengikat gas-gas yang ada dalam ruangan dan mengikatnya pada housing pompa dan melepaskannya pada discharge nozzle. Pada pusat listrik yang menggunakan turbin uap sebagai penggerak generator, pompa vakum digunakan untuk mengisap gas yang ada pada kondensor sehingga mencapai tekanan vakum



Gambar 5. Gambar belahan pompa vakum liquid ring two stage
(Sumber: *Standard Operation Procedure Vacuum Pump NASH*)



Gambar 6. Pompa vakum *liquid ring two stage* di lokasi penelitian

4.1.1. Spesifikasi Pompa Vakum di Lokasi Penelitian

Pompa vakum yang dibahas pada proyek akhir ini adalah pompa vakum dengan tipe *liquid ring*. Tipe ini memanfaatkan cairan liquid sebagai seal untuk mengikat gas yang telah diisap yang kemudian di keluarkan ke discharge nozzle.

Berikut adalah spesifikasi pompa vakum yang ada di lokasi penelitian:

Tabel 1. Spesifikasi Vacuum Pump PT Indonesia Power UP Semarang

Model	2XAT – 2006
Manufacturer	NASH ENGINEERING.C o
Material :	
Pump Casing	Cast Iron
Shaft	Carbon Steel
Number Of Pump	2 (Two)
Pump Operating Speed	590 Rpm
Capacity Of Each Pump	7.08 Lt/Sec At 25 MmHgAbs With Cooling Water Temp 19 °C
Power Consumption/Pump	125 Hp
Motor :	
Manufacturer	Reliance Electric
Type	A.C MOTOR
Days	125 Hp
Speed	590 Rpm
Frame Size	449T
RPM	600 3 PH 80 V 50 Hz
Shaft Dia	3,375 Inch (85,725 mm)

4.1.2. Spesifikasi Kondensor

Pada pusat listrik yang memanfaatkan tekanan uap sebagai penggerak rotor generator, kondensor tidak akan luput dari komponen penting untuk menungjang sirkulasi uap dan air pada pusat listrik tersebut. Berikut adalah spesifikasi kondensor pada lokasi penelitian:

Tabel 1. Spesifikasi kondensor PT Indonesia Power UP Semarang

Condenser	
Manufacturer	YUBA
Type Of Condenser	SINGLE PASS
Steam Flow	639,330 kg/hr
Condenser Back Pressure	62,2 mm Hg A
Tube Cleanliness Factor	85 %
Steam Absolut Pressure	0,083 bar Abs
Circulating Water Flow	48,750 m ³ /h

Circulating Water Pressure Drop	0,317 Kg/cm ²
Circulating Water Inlet Temp	30 C
Circulating Water Outlet Temp	36,83 °C
Number Of Tubes	13,956
Tube Diameter And Thickness	25,4 mm
Tube Sheet	
Material	Titanium
Thickness	28,575 mm
Method Of Attachement Of Tubes To Tobe Sheet	Rolled
Tube Support Plates	
Material	Carbon Steel (SA 526-70)
Hot Well	
Dimensions (L x W x H)	12,766 x 6,706 x 4,648
Storage Sapacity	56 m ³
condenser Shell And Hot Well Plate Material	Carbon Stell
Water Box Design Pressure	4.22
Water Boc Test Pressure	1,5 x 4,22
Water Box Circulating Water Inlets And Outlets Nozzle Size	2100 (mm) - 125
Pressure Drop	31 (mbar)

4.2. Pemeliharaan Pompa Vakum

Pemeliharaan pompa vakum memegang peranan penting dalam menjaga efisiensi uap kinerja dari kondensor. Peralatan/mesin yang akan mengalami penurunan akan kinerja dan performa apabila suatu peralatan tersebut tidak dipelihara dan dirawat berdasarkan SOP (Standar Operational Procedure) yaitu sesuai dengan manual book atau buku petunjuk yang dikeluarkan oleh perusahaan mesin tersebut.

Ada beberapa pemeliharaan yang dilakukan pada *Vacuum Pump* di PLTGU tambak Lorok Semarang, yaitu :

- Preventive Maintenance
Preventive maintenance adalah suatu kegiatan perawatan yang direncanakan baik itu secara rutin maupun periodik karena apabila perawatan dilakukan tepat pada waktunya akan mengurangi down time dari *vacuum pump*.
- Corrective Maintenance
Corrective maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan atas dasar gangguan atau kelainan yang terjadi pada *vacuum pump*.

4.2.1. Pemeliharaan Preventive

Pemeliharaan *preventive* merupakan pemeliharaan yang sifatnya mencegah. Pada pemeliharaan *preventive* pompa vakum yang terdapat pada STG Block 1 adalah two-stage *vacuum pump* dengan type 2XAT- 2006 yang di produksi oleh NASH. Tidak berbeda dengan pompa pada umumnya, *vacuum pump* ini memiliki jadwal pemeliharaan juga, di antaranya pemeliharaan yang dilaksanakan meliputi pemeliharaan periodic dengan jangka waktu telah ditentukan. Berikut penjelasannya:

Tabel 2. Data Pemeliharaan

Tanggal	Vacuum Pump Pressure	Condenser Vacuum Pressure
29 Maret 2018	109 mmHg	-90,027 kPa
1 Mei 2018	111 mmHg	-93,088 kPa

Dari data di atas dapat di olah menjadi: Kenaikan vakum *condenser*:

$$(-93,088 \text{ kPa}) - (-90,027 \text{ kPa}) = -3,061 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Presentase Kenaikan} &= \frac{\text{Nilai Kenaikan}}{\text{Nilai Sebelum Kenaikan}} \times 100\% \\ &= \frac{3,061 \text{ kPa}}{90,027 \text{ kPa}} \times 100\% \\ &= 3,4 \% \end{aligned}$$

Jadi, presentase kenaikan vakum tertinggi pada kondensor setelah dilakukan pemeliharaan *preventive* adalah **3,4 %**.

Tujuan dari *Preventive Maintenance* bagi pompa yaitu sebagai acuan untuk pembenahan komponen-komponen yang terjadi gangguan. Apabila *preventive maintenance* dilakukan dengan teratur maka hasil yang peroleh akan baik untuk kinerja pompa itu sendiri. Dan berikut pengecekan yang dilakukan ketika pemeliharaan berlangsung:

1. Pengecekan kebocoran HE (Heat Excenger)
2. Mengencangkan gland packing pump
3. Regreasing bearing
4. Membersihkan stainer seal water
5. Check vibrasi pompa
6. Memeriksa kerapatan baut (mengencangkan kembali)
7. Membersihkan area dari sampah dan debu

4.2.1.1. Pemeliharaan Periodik dalam Jangka 6 Bulan

Pelumasan kopling dan bearing sebagai berikut ini:

- a. Saat kopling dilumasi, sebelumnya harus dilumasi oli atau gemuk sesuai dengan instruksi manufaktur.
- b. Periksa bearing (bantalan) pompa dan lumasi
- c. Pindahkan kembali bantalan motor penggerak sesuai dengan instruksi
- d. Periksa untuk memastikan bahwa lubang pada Unloader body tidak terpasang pada colokan, berikut penjelasannya:
 1. Cabut plug pipa dari head Bearing dan memeriksa lubang orifice plug
 2. Jika orifice plug telah dilepas, gunakan sapu panjang untuk membersihkan kotoran yang menempel
 3. Jika lubang orifice tidak bisa dibersihkan dengan sapu panjang, gunakan kunci pas dan lepaskan steker orifice. Dan bersihkan kotoran yang ada pada kepala bearing, jika mungkin ganti orifice steker.
 4. Pasang kembali baut pipa pada head Bearing

4.2.1.2. Pemeliharaan Periodik dalam Jangka 12 Bulan

- A. Periksa bearing (bantalan) pompa dan lumasi, pada pemumasan bearing dilakukan pada saat pembongkaran pertama. Yaitu ketika membuka kover poros. Pelumasan bantalan menggugurkan minyak gembuk dan apabila telah dilumasi sebelumnya, pelumasan bearing tidak perlu dilakukan lagi untuk beberapa bulan.
- B. Ganti stuffing box, pada saat penggantian stuffing box Jadwal pemeliharaan pencegahan harus ditetapkan untuk penggantian packing dalam Stuffing box.

4.2.2. Kerusakan Komponen *Vacuum Pump*

Jika sewaktu-waktu terjadi masalah dalam mendapatkan debit dan vakum tertentu, poin-poin berikut harus diperiksa sebelum memutuskan untuk membongkar pompa.

1. **Arah yang tidak tepat untuk rotasi:** Rotasi pada impeller dan shaft sangat mempengaruhi aliran uap dan liquid cair
2. **Kegagalan liquid (cairan) operasi:** Vakum yang dibutuhkan tidak dapat diperoleh dan dipertahankan tanpa kuantitas cairan operasi yang tepat. Periksa saluran pasokan cairan yang ditutup, periksa saringan.
3. **Sealing water panas:** Pendingin cairan operasi, lebih tinggi vakum maksimum yang dapat diperoleh. Di atas 30 ° C.
4. **Pembatasan dalam penyedotan hisap:** Pembuangan suction dan discharge yang ditutup akan mengurangi kapasitas pompa.
5. **Kebocoran dalam sistem:** Kebocoran mungkin telah berkembang dalam sistem sehingga meningkatkan pembuangan dan menurunkan vakum yang diperoleh.

Jika tidak ada masalah ditemukan setelah memeriksa poin di atas, pompa dapat dibongkar untuk diperbaiki.

4.2.3. Perbaikan Pompa Vakum

Untuk pengoperasian pompa vakum yang efisien, bilah rotor tidak menyentuh cone (bilah rotor dan pelat port dalam kasus desain pelat) tetapi berjalan dengan jarak yang ditentukan sebelumnya antara bilah kerucut dan permukaan kerucutnya dari kerucut. Pembersihan disegel oleh cairan yang beroperasi di dalam pompa. Jika pembukaan meningkat melampaui nilai yang disarankan, kapasitas / efisiensi pompa akan menurun. Dalam hal ini, pemesinan dan peredupan, perbaikan dengan pengelasan dan pemesinan ulang atau penggantian oleh bagian-bagian baru akan diperlukan.

Bagian pompa juga bisa rusak karena kavitasi, erosi, korosi dll. Dan mungkin memerlukan perbaikan atau penggantian. Perbaikan juga harus mencakup inspeksi untuk menentukan akar penyebab masalah atau kegagalan sehingga tindakan korektif dapat dilakukan selama perbaikan untuk mencegah terulangnya kembali. Pastikan untuk memasang komponen pompa di tempat asalnya karena kinerja pompa tidak akan memuaskan jika suku cadang tidak dipasang di tempat asalnya.



Gambar 7. Cone yang sudah korosi dan harus diganti



Gambar 8. Gambar impeller First Stage yang keropos

4.3. Pembongkaran Vacuum Pump Liquid Ring Two Stage

Sebelum membongkar pompa, isolasi input listrik diputuskan dan putuskan sambungan Sealing water, lepaskan kopleng ke drive motor, dan koneksi inlet dan outlet. Bongkar pompa pada permukaan yang rata. Sebelum lakukan pembongkaran tandai semua komponen pompa, hal ini dilakukan agar saat pembongkaran dilakukan, tanda - tanda tersebut digunakan untuk memastikan posisi yang benar untuk pembongkarannya. Sebelum memulai pembongkaran, kumpulkan bagian, bahan dan alat standar, dan alat khusus yang tercantum pada SOP.

4.3.1. Tools dan Alat yang Dibutuhkan

Tabel 4. Daftar Peralatan yang Dibutuhkan

No	Nama Alat	Jumlah
1	Kunci soket diatur dengan ekstensi poros	1 pack
2	Kunci pas heksagonal	1 Buah
3	Kunci soket diatur dengan ekstensi poros	1 Buah
4	Grace dengan Oil viscosity @ 100 (38 C)	Sesuai Kebutuhan
5	Palu Rawhide.	1 Buah
6	Bearing puller	1 Buah
7	Dial Indicator	1 Buah
8	Tang	3 Buah
9	Standard bearing puller	1 Buah
10	Sarung tangan yang terisolasi secara termal.	Sesuai kebutuhan teknisi yang bekerja
11	Hoist dan sling.	1 Buah
12	Hydraulic jack, kapasitas 20 ton.	1 Buah
13	WD-40	5 Botol
14	Majun	Sesuai kebutuhan

Tabel 5. Komponen dan Perbaikan Pompa Vakum

No	Nama	Kondisi Fisik	Langkah - Langkah	Alat Yang Digunakan
1	Kopling	<ul style="list-style-type: none"> • Kotoran • Berkarat • Keausan • Keretakan 	<p>Bersihkan dari kotoran menggunakan majun</p> <p>Bersihkan bagian dari karat menggunakan amplas</p> <p>Bila ada yang aus /abrasi makah harus di ganti</p> <p>Cek kerataan dengan menggunakan dial indicator</p> <p>Cek keretakan dengan menggunakan spray warna</p> <p>Cek secara visual apabila ada keretakan maka harus diganti</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sikat baja • Amplas • Majun • S.M.T (Shell Mineral Therpin) • Dial indikator
2	Housing/ Body	<ul style="list-style-type: none"> • Berkarat • Keretakan 	<p>Bersihkan permukaan dari karat menggunakan amplas</p> <p>Bersihkan bagian dari karat menggunakan amplas</p> <p>Cek keretakan dengan menggunakan spray warna</p> <p>Cek secara visual apabila ada keretakan maka harus diganti</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sikat baja • Amplas • Majun • S.M.T (Shell Mineral Therpin)
3	First stage Impeller	<ul style="list-style-type: none"> • Berkarat • Keretakan 	<p>Bersihkan bagian yang berkarat</p> <p>Cek sudu impeller dari keretakan secara visual</p> <p>Apabila ada kerusakan mengakibatkan gangguan balaceing pompa maka harus diganti dengan yang baru</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sikat baja • Amplas • Majun • S.M.T (Shell Mineral Therpin) • spray
4	Fist stage rotor	<ul style="list-style-type: none"> • Ke ausan • Keretakan 	<p>Rotor disini menyatu dengan impeller</p> <p>Kondisi rotor berdasarkan permukaan yang masih halus dan tidak retak</p> <p>Priksa diameter rotor menggunakan jangka sorong</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jangka Sorong • Amplas • Majun
5	First stage Cone	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • keretakan 	<p>Cone disini berfungsi untuk menseal fluida yang masuk dari suction nozzle</p> <p>Bersihkan karat menggunakan amplas</p> <p>Cek keretakan secara visual</p> <p>Apabila permukaan retak maka harus diganti</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Majun • Amplas • Sikat baja

4.4. Sirkulasi Vakum pada Kondensor

Pada pusat listrik yang memanfaatkan turbin uap sebagai penggerak generator pasti memiliki kondensor sebagai komponen penunjang siklus air dan uapnya. Pada kondensor terdapat raangan yang berisi pipa-pipa yang di aliri CW (Cooling Water), cooling water ini berfungsi untuk mendinginkan uap hasil LP turbine yang kemudian uap tersebut berubah fasa dan di tampung di hotwell.

Tabel 5. Komponen dan Perbaikan Pompa Vakum (lanjutan)

No	Nama	Kondisi Fisik	Langkah - Langkah	Alat Yang Digunakan
6	Shaft / Poros	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi drat Keausan poros Kebengkokan poros akibat pemuain 	<p>Gunakan kikir untuk mengikis bagian yang rusak</p> <p>Cek keausan pada dudukan</p> <p>Apabila poros mengalami keausan maka harus diganti</p> <p>Bila ada kebengkokan yang terlihat atau tinggi maka poros harus diganti bar</p>	<ul style="list-style-type: none"> Amplas Kikir Dial indicator Majun
7	Second Stage Bearing	<ul style="list-style-type: none"> Perubahan posisi dari asal, keausan, singgungan dan keretakan 	<p>Apabila bearing memiliki indikasi atau tanda-tanda maka perlu diganti</p>	
8	Second Stage Impeller	<ul style="list-style-type: none"> Berkarat Keretakan 	<p>Bersihkan bagian yang berkarat</p> <p>Cek sudu impeller dari keretakan secara visual</p> <p>Apabila ada kerusakan mengakibatkan gangguan balanceing pompa maka harus diganti dengan yang baru</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sikat baja Amplas Majun S.M.T (Shell Mineral Therpin) spray
9	Second Stage rotor	<ul style="list-style-type: none"> Keausan keretakan 	<p>Rotor disini menyatu dengan impeller</p> <p>Kondisi rotor berdasarkan permukaan yang masih halus dan tidak retak</p> <p>Priksa diameter rotor menggunakan jangka sorong</p>	<ul style="list-style-type: none"> Jangka Sorong Amplas Majun
10	Second Stage Cone	<ul style="list-style-type: none"> Korosi keretakan 	<p>Cone disini berfungsi untuk menseal fluida yang masuk dari suction nozzle</p> <p>Bersihkan karat menggunakan amplas</p> <p>Cek keretakan secara visual</p> <p>Apabila permukaan retak maka harus</p>	<ul style="list-style-type: none"> Majun Amplas Sikat baja
11	Penekan Gland Packing	<ul style="list-style-type: none"> Keausan 	<p>Perbaiki dengan penyambungan</p>	

Pada condenser memiliki tekanan vakum yang berfungsi untuk menghampakan udara agar perubahan fasa terjadi dengan lancar dan cepat. Untuk pemvakuman kondensor dibutuhkan *vacuum pump*. *Vacuum pump* berfungsi untuk menghisap udara / gas yang tidak terkondensasi dan kemudian diproses dan di sirkulasikan kembali.

A. Aliran Fluida Cair (Sealing Water)

1. Sealing water mengalir melalui pipa heat exchanger
2. Kemudian mengalir menuju spray nozzle dan liquid inlet pada *vacuum pump*
3. Sealing water bekerja sebagai sealing untuk mengikat gas-gas yang mengalir pada *vacuum pump*. Temperature sealing water adalah sekitar 60°F.
4. Setelah sealing water mengikat gas-gas dari First Stage *Vacuum Pump*, campuran fluida gas dan air keluar menuju pipa penghubung first stage dan second stage.

Tabel 5. Komponen dan Perbaikan *Vacuum* (lanjutan)

No	Nama	Kondisi Fisik	Langkah - Langkah	Alat Yang Digunakan
12	First stage lobe paking	<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan, sobek,keras 	Ganti baru	<ul style="list-style-type: none"> • Siklo • Plong
13	Second stage lobe paking	<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan,sobek,keras 	Ganti baru	<ul style="list-style-type: none"> • Siklo • Plong
14	Packing untuk cover bearing (0.5 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Kerusakan, atau sobek 	Mengganti yang baru dengan membuat ukuran sesuai yang ditetapkan	<ul style="list-style-type: none"> • Alat pembuat packing siklo
15	Pelumas	<ul style="list-style-type: none"> • Viskositas, level oli,dan warna 	Ganti baru	<ul style="list-style-type: none"> • Oli HPU
16	Baut Dan Mur	<ul style="list-style-type: none"> • Berkarat, Kondisi drat rusak, Sulit untuk dilepas 	Deibersihkan Diampelas Diganti yang baru	<ul style="list-style-type: none"> • Sikat Baja • WD • S.M.T (Shell Mineral Therpin)

5. Campuran fluida gas dan air kembali di sealing pada second stage. Hal ini bertujuan untuk membersihkan system dan membuat tingkat vakum akhir yang lebih dalam.
6. Setelah proses sealing second stage selesai, campuran fluida gas dan cair mengalir menuju second stage discharge.
7. Setelah itu kemudian menuju ke separator pada separator fluida cair berada di dasar tangki. Sirkulasi pada gambar menunjukkan peran penting setiap fluida yang mengalir. Penjelasan sirkulasi sebagai berikut:

B. Aliran Fluida Gas

1. Gas / uap masuk dari suction nozzle
2. Kemudian menuju inlet manifold.
3. Fluida cair dan gas fluida gas hasil pemvakuman di buang ke atmosfer melalui gas discharge separator. Kemudian gas / uap di sirkulasi pada impeller first stage

4. Setelah gas tersealing oleh fluida cair, gas mengalir menuju ke tahap second stage dan second stage
5. Gas dan fluida cair keluar melalui second stage discharge, kemudian menuju separator untuk memisahkan

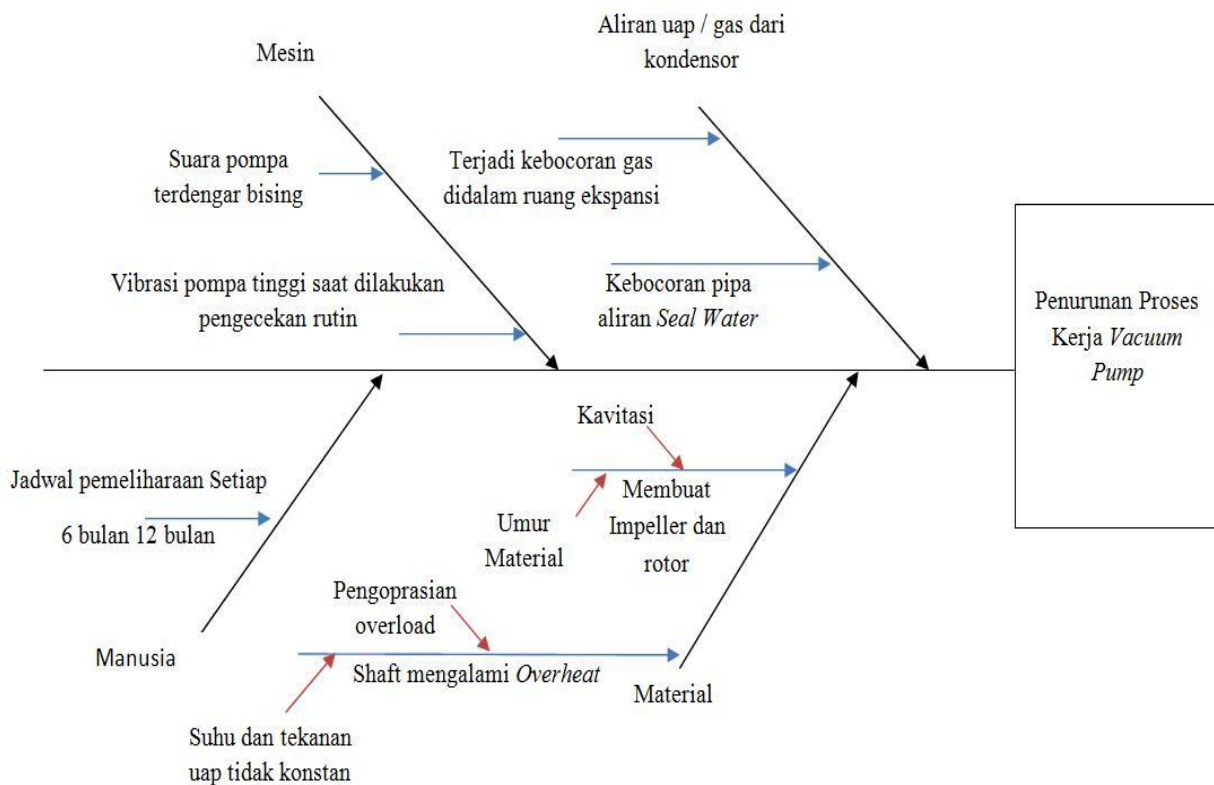
Pada gambar sirkulasi aliran *vacuum pump*, terdapat pipa HE (heat exchanger) yang mengalirkan Cooling Water. Cooling water disini berfungsi untuk mendinginkan air hasil sirkulasi pada *Vacuum Pump*. Temperature Colling water berkisar antara 29 °C – 32 °C. Pada pipa HE terjadi pertukaran panas yaitu memanfaatkan penukar panas yang dapat digunakan untuk mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain. Proses perpindahan panas ini biasanya terjadi dari fase cair ke fase cair atau dari fase uap ke fase cair.

4.5. Analisa Fishbone

Pada saat perawatan di simpulkan bahwa pemeliharaan pada pemeliharaan pompa vakum dapat meningkatkan efisiensi pompa, maka akan ada beberapa factor yang mempengaruhi penurunan efisiensi pompa yang membuat pompa tersebut harus diperbaiki.

Faktor-faktor yang mempengaruhi gangguan pompa yang dapat membuat pompa mengalami penurunan efisiensi dijelaskan menggunakan diagram fishbone sebagai berikut:

4.5.1. Proses Penurunan Kerja Vacuum Pump dengan Diagram Fishbone



Gambar 9. Diagram fishbone penelitian

4.5.2. Analisa Diagram Fishbone

Dari penjelasan analisa mekanisme dilakukannya pemeliharaan *preventive* disimpulkan

4.5.3. Kesimpulan Diagram Fishbone

1. Vibrasi yang terjadi pada pompa adalah pengaruh dari komponen pompa berputar. Vibrasi yang tinggi disebabkan oleh *shaft* yang tidak berfungsi normal akibat *overheat*. *Overheat* terjadi karena jam operasi pompa yang sudah melebihi batas yang ditentukan. Asumsi lain vibrasi tinggi pada pompa disebabkan oleh baut - baut yang longgar. Suara bising pada mesin terjadi karena beberapa sebab, di antaranya poros yang sudah tidak center dan bearing-bearing yang aus karena pelumasan kurang.
2. *Shaft* yang *overheat* dapat menyebabkan banyak masalah pada kinerja pompa, penyebab *overheat* adalah jam operasi pompa yang melebihi batas operasi ataupun pengoperasian pompa yang dilakukan secara *continue*. Tekanan gas pada *impeller* yang tidak stabil.
3. Pada saat proses ekspansi terjadi kavitasi yang disebabkan oleh uap yang mengalir dengan *sealing water*, dan *sealing water* tersebut terjadi kavitasi sebelum proses *sealing*, sehingga *Cone* dan *Blade* pada *impeller* keropos akibat proses kavitasi tersebut. Keroposnya komponen penting ini membuat kinerja pompa menurun.

4.6. Analisa Perbaikan Pompa Vakum

Pemeliharaan pompa vakum di lokasi penelitian sudah termasuk memenuhi hal – hal yang seharusnya dilakukan pada pemeliharaan pompa preventif, meskipun masih ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Sesuai dari namanya pemeliharaan preventif berarti aktivitas yang dilakukan terjadwal yang dijadwalkan dalam waktu sedikit sebelum suatu mesin atau sistem mengalami kerusakan secara natural (Moblely, 2004). Pemeliharaan dilakukan bukan hanya untuk memperbaiki mesin atau sistem, tetapi untuk mengoptimasi output dari mesin atau sistem (Moblely, 2004). Menurut pengertian – pengertian tadi, pemeliharaan preventif yang dilakukan di lokasi penelitian (di pembahasan sebelumnya) tampaknya sudah memenuhi kriteria pemeliharaan preventif pada beberapa hal, tetapi tampak masih belum memenuhi pada beberapa hal, yaitu pada pembiaran kebocoran uap pada ruang ekspansi pompa. Hal ini terjadi mungkin diakibatkan terbatasnya dana untuk membeli pompa vakum yang baru atau bekas dan stok pompa vakum yang setipe/semodel, maka komponen yang menjadi cepat rusak adalah *impeller* dan *cone* pompa.

Meskipun tampak belum memenuhi kriteria pemeliharaan preventif yang baik, tetapi keadaan seperti ini (mesin baru yang mahal, sehingga tidak dibeli atau susah mencari tipe yang sama, sehingga mengorbankan rusaknya komponen – komponen yang lebih murah di pompa) dapat dimaklumi asalkan sudah dihitung tepat keuntungannya dan kerugiannya dengan patokan mencari mesin yang semodel/setipe. Jika mesin model baru yang dibeli tentu saja akan menjadi kurang tepat karena teknisi dan supervisor harus mempelajarinya dan ini memakan waktu. Penggunaan mesin baru juga belum tentu diperoleh hasil yang baik pada efisiensi keseluruhan sistem bahkan bisa jadi mesin baru tidak cocok di sistem atau sistem susah untuk diatur untuk sesuai dengan mesin pompa baru. Oleh karena itu, keadaan pengorbanan komponen – komponen yang lebih murah seperti *cone* dan *impeller* tersebut merupakan keadaan yang dimaklumi.

Tabel 6. Komponen dan Perbaikan Pompa Vakum

No	Diagnosa	Discussion	Rootcause
1.	Faktor Manusia yang mempengaruhi gangguan pada Kinerja <i>Vacuum Pump</i> .	Pemeliharaan periodic yang dilakukan setiap 6 bulan dan 12 bulan adalah pemeliharaan rutin yang sudah terjadwal. Walaupun pompa masih dalam keadaan normal dan layak operasi apabila sudah masuk pada jadwal dilakukan pemeliharaan maka dilakukanlah pemeliharaan preventive.	TIDAK BERPENGARUH
2.	Gangguan pada komponen yang ada di dalam <i>Vacuum Pump</i> dapat dilihat dan didengar.	Pada saat perawatan rutin, dilakukan pengecekan vibrasi dan pembersihan area kerja pompa. Pada saat dilakukan perawatan rutin apabila vibrasi diatas rata-rata dari ketentuan pompa maka. Harus dilakukan perbaikan. Begitu juga pada suara yang dapat didengaar. Suara komponen yang mengalami gangguan relatif lebih nyaring dari pada saat tidak gangguan. karena komponen yang berotasi akan menimbulkan suara nyaring apabila pelumasan kurang dan telah terjadi korosi.	TIDAK BERPENGARUH
3.	Aliran Uap dan Air yang bersirkulasi dapat mengakibatkan kerusakan karena suhu dan tekanan masing masing fluida yang tidak konstan.	Pipa pompa yang menghubungkan ruang kondensor dan pipa yang menghubungkan ke <i>Heat Excanger</i> berbeda. Dimana pipa kondonsor mengalir uap yang tidak terkondensasi di kondensor. dan pipa heat exchanger mengalir cooling water dari colling tower. Kebocoran uap biasa terjadi pada ruang ekspansi pada <i>Vacuum pump</i> . Dan membuat proses kerja pompa dan sikulasi dluida terganggu. Dan mengakibatkan komponen seperti <i>Impeller</i> dan <i>Cone</i> pada pompa rusak.	BERPENGARUH

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan - pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

1. Komponen yang sering/rawan mengalami kerusakan pada pompa vakum adalah bagian *blade impeller* dan *cone*.
2. Apabila pompa vakum telah melewati batas jam oprasinya dan tidak dilakukan pemeliharaan, performa pompa akan turun yang akan mempengaruhi pemvakuman kondensor.
3. Pemeliharaan preventif pompa vakum bertujuan untuk menjaga dan mencegah terjadinya kerusakan dan mengurangi kemungkinan breakdown maintenance dan menaikkan presentase output kerja pompa sekitar 3,4 %.
4. Proses pembongkaran pompa vakum dilakukan dengan prosedur seusai SOP yang ada agar performa pompa vakum tidak terjadi penurunan karena ada kesalahan teknis pembongkaran. Sedangkan, perbaikan dilakukan untuk meningkatkan kualitas kerja komponen pompa seperti semula.
5. Sirkulasi fluida pompa vakum *liquid ring* dibagi menjadi 2 jenis fluida yaitu air dan uap. Kedua fluida ini mengalir masuk pada *inlet port* yang berbeda. Setelah bercampur akibat ekspansi pada ruang impeller, keluar pada saluran *discharge port* yang sama.
6. Pemeliharaan *preventif* pompa vakum harus tetap dilakukan dengan terjadwal agar life time dari pompa vakum dapat bertahan lebih lama dan biaya akibat kerusakan pompa relatif tidak besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 1999. *Liquid Ring Pump MV and MVP Design Installation, Operation and Maintenance Manual*. New York: Graham Co.
- [2] Anonim. 2014. *Instruksi Kerja Mengoperasikan Pompa Vakum PLTGU*. IK.SMG.Q.02.67. Semarang: PT Indonesia Power UP Semarang.
- [3] Anonim. PT Indonesia Power UP Semarang. (online). (<https://www.indonesiapower.co.id/id/produk-dan-layanan/produk/Pages/Unit-Pembangkitan-Semarang.aspx>, diakses 5 Juni 2018: 08.15 WIB)
- [4] Anonim. Cat Pumps (online). (<http://www.catpumps.com/preventive-maintenance.asp>), diakses pada 21 September 2018 7.50 WIB.
- [5] Baringbing, H. M. & Hazwi, M. (2013). Analisa Kerusakan Pompa Vertikal Tipe Tait Model 15 BCH-3 dengan Kapasitas 150 L/S di PDAM Tirtanadi Sunggal. *Jurnal e-Dinamis*, 6(2), 56-60.
- [6] Butler, S. W., Ringwood, J. V., MacGearailt N. (2009). Prediction of Vacuum Pump Degradation in Semiconductor Processing. *Preprints of the 7th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, 1(1), 1635-1640.
- [7] Cheung, Wan-Sup. (2015). Predictive Diagnosis and Preventive Maintenance Technologies for Dry Vacuum Pumps. *Jurnal Vacuum Magazine (The Korean Vacuum Society)*, 2(1), 31-34.
- [8] Denver, Gardner. *How a Liquid Ring Vacuum Pump Works*. (online). (<http://www.gdnash.com/liquid-ring-vacuum-pump-operation/>, diakses 8 Juni 2018: 08.15 WIB)
- [9] Ganapathy, A. U., Sainath K. (2014). Vibrational Analysis a Key for Pump Maintenance-Case Study. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 4(3), 58-64.

- [10] Gusniar, I. N. (2014). Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal di Unit Utility PT. ABC. *Jurnal Ilmiah Solusi*, 1(1), 77-86.
- [11] Nandiroh, S. (2006). Penentuan Waktu Perawatan untuk Pencegahan pada Komponen Kritis Cyclone Feed Pump Berdasarkan Kriteria Minimasi Down Time. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 5(1), 39-44.
- [12] Rao, S. S., Vikas, V. C., Rao, M. R. (2012). Preventive Maintenance and Fault Diagnosis of Pump Motor Bearings. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE)*, 2(6), 17-20.
- [13] Totok I. 2016. *Analisa Jumlah Energi yang Terserap pada Tiap Tingkatan Pipa - Pipa HRSG Unit 2.1 pada PLTGU Blok 2*. Semarang: POLINES Semarang.