

ANALISIS PERFORMA *MAIN COOLING WATER PUMP* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) PT.X

Komarudin¹, Andrian Saputro², Kuat Suparto³

¹⁾²⁾³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara, Jakarta

Corresponding author

E-mail: komarudin@undira.ac.id



Diterima : 22/9/2021

Direvisi : 30/11/2021

Dipublikasi : 01/12/2021

Abstrak: Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan. Karena bahan utama yang digunakan untuk memutar turbin adalah uap basah dari dalam bumi, karenanya tidak memerlukan bahan bakar untuk menghasilkan uap. PLTP ini memiliki beberapa komponen penting dalam menghasilkan listrik salah satunya yaitu pompa. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pencatatan data harian pada pompa *Main Cooling Water Pump* untuk kemudian dilakukan analisis perhitungan untuk mencari daya motor, daya pompa dan efisiensi kemudian ditentukan penyebab penurunan performa pompa tersebut. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil daya motor aktual pompa 1 dan 2 sebesar 705,601 kW, kemudian daya motor *commissioning* sebesar 748,29 kW, dan daya motor spesifikasi mempunyai hasil sebesar 900 kW. Untuk daya pompa aktual pada pompa 1 memiliki daya sebesar 542,410 kW, sedangkan pompa 2 sebesar 512,760 kW. Kemudian daya pompa *commissioning* sebesar 613,000 kW, dan daya pompa spesifikasi mempunyai hasil sebesar 630,000 kW. Dan untuk efisiensi aktual pada pompa 1 memiliki efisiensi sebesar 76,70 %, sedangkan pompa 2 sebesar 72,50 %. Kemudian efisiensi pompa *commissioning* sebesar 82,8 %, dan efisiensi pompa spesifikasi mempunyai hasil sebesar 86 %. Didapatkan kesimpulan performa pompa aktual mengalami penurunan performa dari performa pompa *commissioning* dan *performa* spesifikasi, sehingga perawatan yang diberikan harus lebih ekstra untuk menjaga performa pompa tetap dalam kondisi optimal.

Kata Kunci: Pompa Sentrifugal, Pompa Satu Tingkat, *Main Cooling Water Pump*

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik merupakan hal yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat khususnya di negara Indonesia yang merupakan negara berkembang, dimana kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat dari tahun ke tahun. Energi terbarukan merupakan salah satu solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan atas kebutuhan listrik tersebut. Di

beberapa negara termasuk Indonesia, panas bumi menjadi salah satu energi terbarukan yang digunakan sebagai pembangkit listrik (PLTP).

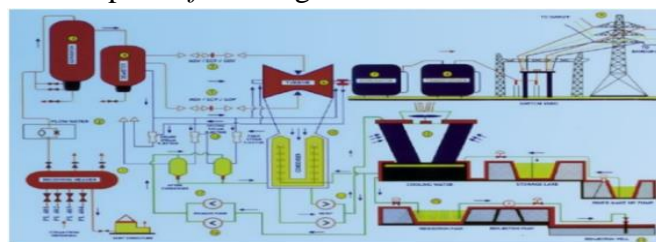
Sistem pembangkit di PLTP sebenarnya hampir sama dengan pembangkitan listrik di PLTU, namun yang membedakan dari PLTP dan PLTU adalah PLTP tidak memiliki sistem *steam generator* berlanjut dan tidak ada energi yang terbuang. Disini peran dari steam generator digantikan oleh adanya sumur pemasok uap kering ataupun uap basah. Sistem pendingin di PLTP merupakan sistem pendingin dengan sirkulasi tertutup dari air hasil kondensasi uap, dimana kelebihan kondensat yang terjadi direinjeksi ke dalam sumur reinjeksi. Prinsip penyerapan energi panas dari air yang disirkulasikan adalah dengan mengalirkan udara pendingin secara paksa dengan arah aliran tegak lurus, menggunakan 5 fan cooling tower. Untuk membantu proses sirkulasi air kondensat ini maka perlu adanya daya pompa agar aliran dapat mengalir dengan kekuatan aliran yang konstan. Maka pompa yang digunakan adalah jenis pompa sentrifugal *Main Cooling Water Pump* (MCWP). Dimana *main cooling water pump* tersebut sudah berjalan selama kurang lebih 20.000 jam yang nantinya akan diketahui bagaimana performa dari pompa tersebut melalui perbandingan awal pada pompa saat *commissioning* dengan aktual.

Dari hasil pengamatan teridentifikasi bahwa adanya penurunan performa pompa *Main Cooling Water Pump*. Maka dari itu, penulis ingin melakukan penelitian tentang efisiensi yang baik dari performa unit agar memperoleh kapasitas listrik yang optimum. Dengan demikian, upaya memprediksi daya listrik sebuah pembangkit listrik tenaga panas bumi perlu dilakukan sebagai langkah awal untuk mencegah timbulnya dampak negatif yang lebih besar.

KAJIAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit dengan daya 140 MW yang terbagi menjadi 3 unit dengan kapasitas 30 MW untuk unit 1 dan 55 MW untuk unit 2 dan 3 tersebut membutuhkan suplai uap lebih dari 100 ton/jam. Suplai uap tersebut dialirkan melalui empat buah pipe line yaitu PL401, PL402, PL403, PL404. Berikut merupakan *flow* diagram dari PLTP PT.X:



Gambar 2.1 *Flow* Diagram PLTP PT.X

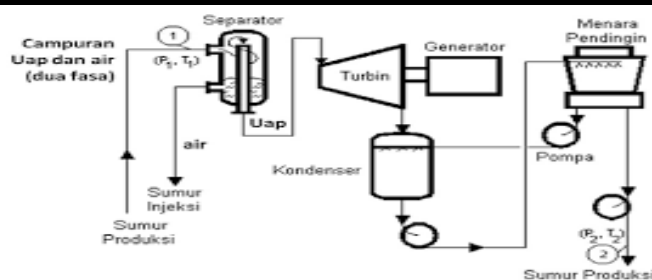
Unit pembangkit dilengkapi dengan komponen bernama *steam receiving header* yang terhubung dengan empat buah pipa utama (*pipe line*) dari sumur produksi. Fungsi dari *steam receiving header* adalah untuk menjaga tekanan berada pada 6,5 bar. *Steam receiving header* ini terhubung dengan *vent valve system* untuk mengontrol tekanan dan aliran uap, *vent valve system* dilengkapi dengan enam buah katup *normally open* yang berfungsi membuang uap berlebih yang akan masuk kedalam sistem pembangkit.

Setelah melalui *steam receiving header*, aliran uap akan menuju separator yang berfungsi untuk memisahkan partikel berat dengan uap, fungsi utama dari separator adalah

untuk membuang zat padat yang terkandung dalam uap panas bumi. Pada prinsipnya, separator memanfaatkan bentuknya yang seperti tabung untuk menghasilkan gaya sentrifugal dimana aliran fluida akan masuk dari bagian atas separator, partikel-partikel dengan berat jenis lebih besar dari pada uap akan jatuh kebawah akibat gaya sentrifugal, dan partikel dengan berat jenis lebih ringan (uap) akan bergerak keatas. Uap akan menuju demister, yang berfungsi untuk mengeringkan uap dengan cara memisahkan uap dengan titik air sebelum masuk ke turbin. Demister adalah komponen yang berfungsi sebagai perangkap titik-titik air yang masih terkandung dengan uap dengan memanfaatkan turbulensi dan gaya tumbukan antara uap berkecepatan tinggi dengan komponen demister. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadi vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada turbin. Titik-titik air yang terperangkap akan dibuang melalui *flash tank*. Selanjutnya, uap dialirkan menuju pipa uap utama yang terbagi menjadi *Left Hand and Right Hand Piping* untuk menuju turbin pada bagian inlet sebesar 5,8 bar dan pada bagian outlet memiliki tekanan sebesar 0,12 bar. Kedua pipa utama tersebut dilengkapi dengan *Main Stop Valve* yang berfungsi sebagai perangkat proteksi ketika terjadi keadaan darurat atau ketika pembangkit sedang dalam keadaan *shut down* serta *governor valve* untuk mengatur aliran uap yang akan masuk menuju turbin. Turbin yang dimiliki PT. Indonesia Power termasuk jenis turbin *double flow condensing turbine* yang dikopel dengan generator pada kecepatan 300 rpm untuk menghasilkan listrik 3 fasa dengan daya 55 MW, frekuensi 50 Hz, tegangan 11,8 kV, serta arus 300 Amp. Tegangan 11,8 V yang dihasilkan generator dialirkan menuju transformator *step-up* dan dinaikkan menjadi 150 kV yang dihubungkan secara parallel dengan sistem interkoneksi Jawa-Bali melalui *switchyard*.

Dikarenakan turbin terkopel dengan kondensor untuk proses kondensasi uap keluaran turbin, maka agar turbin dapat bekerja secara efisien kondensor harus dalam kondisi vakum dengan desain kevakuman sebesar 0,1 bar. Kondensor pada unit PLTP berjenis *direct contact condenser with spray type main condensing part and cascade type gas cooling part* dengan mekanisme kerja *exhaust steam* dari turbin masuk dari sisi atas kondensor, kemudian terkondensasi sebagai akibat penyerapan panas oleh air pendingin yang diinjeksikan lewat *spray nozzle*, sedangkan NCG akan menuju *gas condensing chamber* untuk didinginkan dengan metode *cascade cooling*. Level kondensat selalu dijaga agar selalu dalam kondisi suhu yang diinginkan.

Untuk menjaga kevakuman kondensor, gas yang tak terkondensasi atau *Non Condensable Gas* (NCG) harus dikeluarkan secara kontinu oleh sistem ekstraksi gas. Gas-gas ini mengandung CO₂ sebesar 85-90% wt, H₂S sebesar 3,5% wt, sisanya adalah N₂ dan gas-gas lainnya. Sistem ekstraksi yang dimiliki unit PLTP terdiri atas *first-stage* dan *second-stage* ejector menggunakan *ejector* berjenis *steam jet ejector*. Sistem pendinginan di PLTP terjadi pada *cooling tower* dan merupakan sistem pendinginan sistem sirkulasi terbuka. Prinsip kerja dari *cooling tower* adalah dengan mengalirkan udara pendingin secara paksa dengan arah aliran tegak lurus menggunakan *5 forced draft fan* untuk menyerap energi panas dari kondensat sebagai hasil uap oleh kondensor yang memiliki temperatur 54°C yang disirkulasikan menggunakan *main cooling water pump* menghasilkan fluida dingin yang ditampung di dalam *cool water basin* dengan temperatur 33°C. Berikut sirkulasi air yang di pompakan MCWP ke *Cooling Tower*:

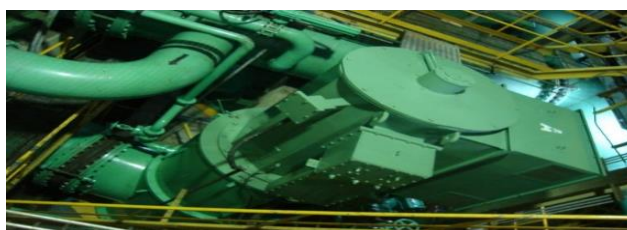


Gambar 2.2 Sirkulasi Pompa MCWP

Fluida dingin yang dihasilkan oleh cooling tower selain digunakan untuk proses kondensasi didalam kondensor juga digunakan untuk proses kondensasi didalam *inter-after condenser* yang disirkulasikan menggunakan primary pump. Sekitar 70% uap yang terkondensasi akan hilang karena rugi penguapan pada *cooling tower*, sedangkan sisanya diinjeksikan kembali kedalam *reservoir*. Reinjeksi dilakukan untuk mengurangi pengaruh pencemaran lingkungan, mengurangi *ground subsidence*, menjaga tekanan, serta *recharge water* bagi *reservoir*.

Main Cooling Water Pump (MCWP)

Main Cooling Water Pump (MCWP) adalah pompa pendingin utama yang berfungsi memompakan air kondensat dari kondensator ke cooling tower untuk kemudian didinginkan. Jenis pompa yang digunakan di PLTP Kamojang adalah *Vertical Barrel type 1 Stage Double Suction Centrifugal Pump*, dengan jumlah dua buah pompa untuk setiap unit. Pada saat unit beroperasi normal sekitar 13.500 m³/jam air dengan temperature 52°C dialirkan dari kondensator ke menara pendingin bagian atas dengan dua buah pompa air pendingin utama. Pompa-pompa tersebut diputar dengan motor listrik yang dapat dioperasikan dari *Control Room*. Motor tersebut dilengkapi dengan alat pengaman dimana motor itu akan berhenti apabila suhu bantalan pompa panas, adanya getaran yang tinggi, pembukaan air dalam kondensator sangat rendah dan tegangan listrik pada motor rendah. Berikut adalah gambar *Main Cooling Water Pump*:



Gambar 2.3 Main Cooling Water Pump

Menentukan Head Total Pada Instalasi

Total head adalah energi per satuan berat yang harus dikeluarkan untuk mengalirkan fluida yang direncanakan sesuai kondisi instalasi pompa atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah fluida, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang.

Persamaan Head Total Pompa:

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1\right) = \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2\right) + H_{maj} + h_{min} - h_p \dots(1)$$

Menentukan Kerugian Major (Major Losses)

Head Major Losses adalah kehilangan akibat gesekan yang terjadi pada pipa, hal ini terjadi akibat bentuk dari permukaan material pipa yang secara mikroskopik tidak halus, hal ini menyebabkan fluida yang dialirkan mengalami perlambatan.

Persamaan Kerugian Major (*Major Losses*) :

$$h_{maj} = f \frac{L V^2}{d 2g} \dots (2)$$

Menentukan Jenis Aliran (Bilangan Reynold)

Bilangan Reynold adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas fluida yang menguantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran seperti laminar dan turbulen. Persamaan bilangan Reynold sebagai berikut.

$$Re = \frac{V d}{\nu} \dots (3)$$

Menentukan Rasio Kekasaran Permukaan

faktor gesekan menggunakan diagram Moody, maka kita harus Untuk menentukan menentukan rasio kekasaran terhadap diameter pipa. Berikut persamaan untuk menentukan rasio kekasaran pipa.

$$\text{Rasio} = \frac{\varepsilon}{d} \dots (4)$$

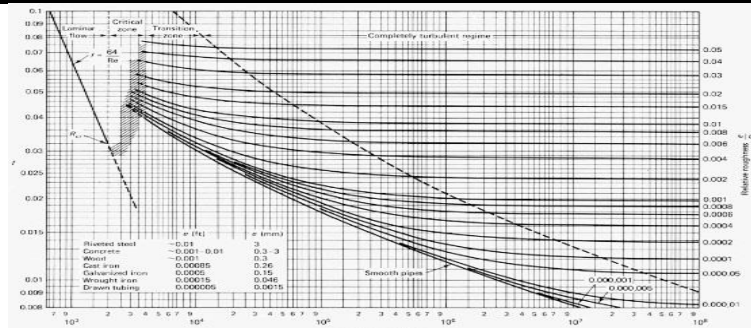
Bahan dari pipa yang digunakan pada analisis ini adalah GIP (*Galvanized Iron Pipe*). Pipa GIP adalah pipa besi yang dilapisi seng yang dapat mengurangi kecenderungan pipa untuk menimbulkan korosi. Pipa GIP ini adalah pipa baja karbon rendah dengan lapisan galvanis. Tabel kekasaran pipa dapat dilihat pada tabel 2.1 :

Tabel 1. Kekasaran Pipa

Material	Kekasaran (m)
Riveted Steel	0,0009 - 0,009
Concrete	0,0003 - 0,003
Wood Stave	0,0002 - 0,0009
Cast Iron	0,00026
Galvanized Iron	0,00015
Asphalted Cast Iron	0,0001
Drawn Brass or Cooper Tubing	0,0000015
Commercial Steel or Wrought Iron	0,000046

Menentukan Koefisien Gesek

Diagram moody untuk menentukan koefisien gesek, maka harus menentukan rasio kekasaran terhadap diameter pipa, dan angka Reynold suatu aliran untuk mendapatkan nilai f. Berikut ini adalah gambar dari diagram moody :



Gambar 2.27 Diagram Moody

Menentukan Kerugian Minor (*Minor Losses*)

Minor Head Losses adalah kerugian akibat gesekan yang terjadi pada belokan, putaran, reducer, dsb. Minor head losses terjadi karena aliran yang mengalir melewati bentuk awal dari saluran mengalami perubahan terhadap kecepatan, arah, atau besarnya sehingga terjadi kerugian pada aliran tersebut. *Head minor losses* dirumuskan sebagai berikut.

$$h_{\min} = \sum K \frac{V^2}{2g} \dots (5)$$

Menentukan Daya Air

Persamaan daya air:

$$P_{\text{air}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_p \dots (6)$$

Satuan Persamaan:

$$\text{Watt} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{m}$$

$$\text{Watt} = \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

$$\text{kiloWatt} = \frac{\text{Watt}}{1000}$$

Menentukan Daya Motor

Persamaan Daya Motor :

$$P_{\text{motor}} = \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot \text{Volt} \cdot I \dots (7)$$

Satuan Persamaan :

$$\text{Watt} = \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot \text{Volt} \cdot I$$

$$\text{kiloWatt} = \frac{\text{Watt}}{1000}$$

Menentukan Efisiensi Pompa

Persamaan Efisiensi Pompa :

$$\eta_p \cdot P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{air}}}{\eta_p} \times 100\% \dots (8)$$

Persamaan nya menjadi :

$$\eta_{p^2} = \frac{P_{\text{air}}}{P_{\text{motor}}} \times 100\%$$

Satuan Persamaan :

$$\% = \frac{\text{Watt}}{\text{Watt}} \times 100\%$$

Menentukan Daya Pompa

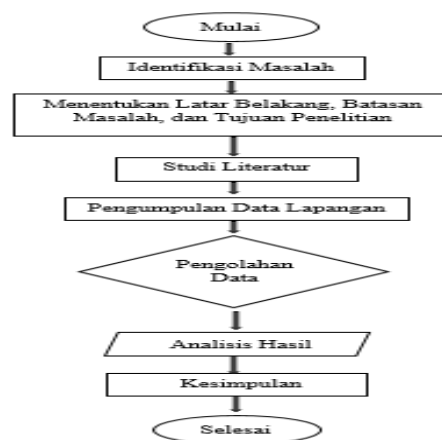
Persamaan Daya Pompa :

$$P_p = \frac{P_{\text{air}}}{\eta_p} \dots (9)$$

Satuan Persamaan :

$$\text{KiloWatt} = \frac{\text{kW}}{\%}$$

METODE PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Prosedur Pengambilan Data

Prosedur yang dilakukan adalah dengan mengambil data pada PT. X, dan pengukuran dengan alat untuk mengukur masing-masing satuan data yang diperlukan, serta dengan melalui wawancara.

Alat Yang Digunakan

Berikut merupakan alat-alat yang digunakan untuk mengukur masing-masing satuan yang digunakan untuk menghitung Head dan Daya pada pompa ini:

1. Barrel Counter – digunakan untuk mengukur jumlah fluida yang dipompakan.
2. Pump Pressure – digunakan untuk mengukur tekanan yang di terima pompa.
3. Water Temperature - digunakan untuk mengukur temperature air.
4. RPM Engine – digunakan untuk mengukur rpm mesin.

Dan alat-alat lain yang ditunjukkan lewat monitor melalui sensor yang diletakan pada instalasi.

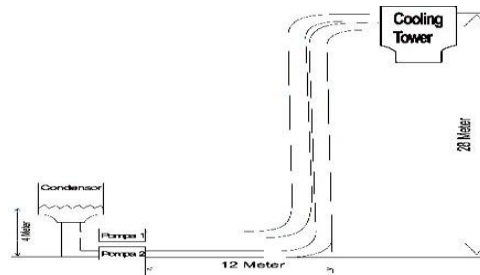
Data Analisis

Untuk mencapai tujuan penelitian, hal utama yang diperlukan tentu mencari permasalahan yang ada kemudian dilakukan pengamatan, setelah itu dilakukan pengolahan data-data yang dikumpulkan melalui studi literatur dan peninjauan lapangan, termasuk wawancara. Selanjutnya data-data di analisa untuk mendapatkan kesimpulan.

Berikut adalah gambar instalasi dan data yang diperlukan untuk penelitian:

a. Gambar Instalasi Pompa

Berikut merupakan gambar instalasi pompa *Main Cooling Water Pump* :



Gambar 3. 2 Instalasi Aliran Pompa MCWP

b. Data Spesifikasi Pompa

Berikut adalah spesifikasi pompa yang digunakan pada Main Cooling Water Pump:

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Pompa MCWP

NO	Data	Keterangan
1	Pembuat	Yoshikura Kogyo Corp. LTD.
2	Tipe	Sentrifugal, Hisap Ganda
3	Debit Maksimum	6876 m ³ /h = 1,91 m ³ /s
4	Total Head	32 meter
5	Putaran	600 rpm
6	Kapasitas daya	55 MW
7	Voltage motor	6300 V
8	Daya Motor	800 kW
9	Penggerak Pompa	Motor Listrik
10	Jenis Fluida	Air Kondensat
11	Viskositas Air	0,547 x 10 ⁻⁶ (m ² /s)
12	Daya Pompa	630,000 kW
13	Efisiensi Pompa	86 %

c. Data Spesifikasi Pipa

Berikut adalah spesifikasi pipa yang digunakan pada Main Cooling Water Pump:

Tabel 3. 2 Data Spesifikasi Pipa MCWP

NO	Data	Keterangan
1	Jenis Material	Galvanized Iron (GIP)
2	Diameter Pipa dalam Suction	1.524 mm
3	Diameter Pipa dalam Discharge	914,4 mm
4	Total Panjang Pipa	48 m
5	Faktor Kekasaran Pipa GIP	0,15 mm

d. Data Nilai Kerugian Fitting

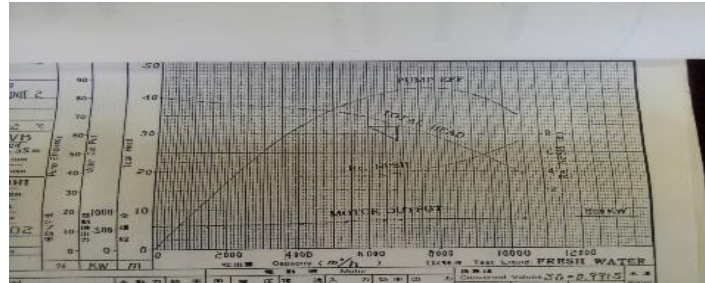
Berikut adalah data nilai kerugian fitting pada Main Cooling Water Pump:

Tabel 3. 3 Data Nilai Kerugian Fitting

NO	Data	Keterangan	Keterangan
1	Elbow 90°	Pompa 1	3
2	Elbow 90°	Pompa 2	3

e. Kurva Karakteristik Pompa

Untuk setiap pompa, biasanya pabrik pembuatnya memberikan kurva karakteristik yang menunjukkan untuk kerja pompa pada berbagai kondisi pemakaian. Karakteristik sebuah pompa digambarkan dalam kurva karakteristik menyatakan besarnya head total, daya pompa dan efisiensi pompa terhadap kapasitas. Gambar grafik kurva karakteristik suatu pompa :



Gambar 3.3 Grafik kurva karakteristik pompa MCWP

f. Data Commissioning Pompa

Tabel 3. 4 Data Commissioning Pompa

Rho	G	Cap	Cap	Ht	Volt	Cur	cos Ø	Pm	Ep	eff
kg/cm ²	m/s ²	M ³ /min	M ³ /s	M	V	A		kW	kW	%
997	9,8	171,9	2,865	21,9	6420	89,6	0,83	825,97	613	74,2
997	9,8	114,6	1,91	33,2	6480	82,4	0,81	748,29	620	82,8
997	9,8	107,1	1,785	34,7	6420	82,2	0,82	748,93	605	80,8
997	9,8	88,4	1,473	36,7	6420	77,6	0,82	706,73	528	74,7
997	9,8	67,7	1,128	37,8	6420	73	0,81	656,73	417	63,4

g. Data Aktual Pompa 1 dan 2

Tabel 3. 5 Data Aktual Pompa

Hari	Waktu	Rho (ρ)	γ	G	Cap	Cap	Volt	Ames	cos Ø	P (m)
		50°C	50°C		(Q) ₁	(Q) ₂		(I)		1&2
	WIB	kg/cm ³	N/m ³	m/s ²	m ³ /s	m ³ /s	V	A		Pa
1	00:00	988,07	9690	9,81	1,718	1,559	6300	78	0,83	11500
	12:00	988,07	9690	9,81	1,670	1,551	6300	78	0,83	13000
2	00:00	988,07	9690	9,81	1,781	1,469	6300	78	0,83	13700
	12:00	988,07	9690	9,81	1,752	1,498	6300	78	0,83	13500
3	00:00	988,07	9690	9,81	1,845	1,544	6300	78	0,83	12000
	12:00	988,07	9690	9,81	1,856	1,560	6300	78	0,83	12500

Perhitungan Head Total Pompa

Untuk menghitung head total pompa maka harus menentukan jenis aliran, kerugian mayor dan kerugian minor.

Menentukan Jenis Aliran Pada Instalasi

- Kecepatan Aliran

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 (0,4572)^2$$

$$A = 0,656 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,718}{0,656}$$

$$V = 2,618 \text{ m/s}$$

- Bilangan Reynold

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{2,618 \cdot 0,9144}{0,547 \times 10^{-6}}$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{2,393}{0,547 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 4374771$$

$$Re > 4000$$

maka dapat kesimpulan, jenis aliran pada instalasi pompa ini bersifat TURBULEN
Menghitung Kerugian Major (Major Head Losses)

Major Head Losses adalah kehilangan akibat gesekan yang terjadi pada pipa, hal ini terjadi akibat bentuk dari permukaan material pipa yang secara mikroskopik tidak halus, hal ini dapat menyebabkan fluida yang dialirkan mengalami perlambatan.

Menghitung kerugian major menggunakan persamaan:

$$h_{maj} = f \frac{L V^2}{d 2g}$$

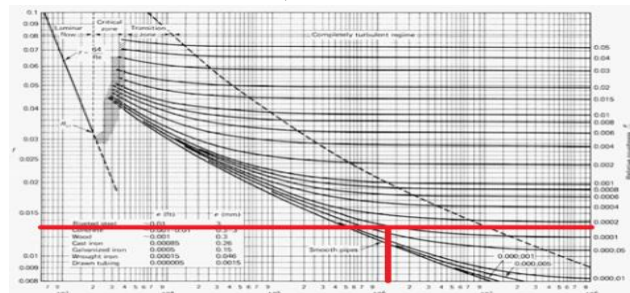
- Mencari nilai f

Untuk mencari nilai f dapat menggunakan diagram Moody. Maka :

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ m} = 0,15 \text{ mm}$$

$$D = 914,4 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,15}{914,4} = 0,000164 \text{ mm}$$



Gambar 3. 4 Penggunaan Diagram Moody

Dari diagram Moody diatas, maka didapat nilai f = 0,013

- Menghitung nilai kerugian mayor (Major Losses):

$$h_{maj} = f \frac{L \cdot V^2}{d \cdot 2g}$$

$$h_{maj} = 0,013 \frac{20 \cdot 2,618^2}{0,914 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{maj} = 0,013 \frac{137,078}{17,932}$$

$$h_{maj} = 0,013 \cdot 7,644$$

$$h_{maj} = 0,0994 \text{ m}$$

maka head total major didapat sebesar 0,0994 meter.

Menghitung Kerugian Minor (Minor Head Losses)

Minor Head Losses adalah kerugian akibat gesekan yang terjadi pada belokan, flange, swivel, dsb. Menghitung nilai kerugian minor (minor Losses):

- Pada elbow 90°

Dengan persamaan:

$$f = \left[0.131 + 1.847 \cdot \left(\frac{d}{2r} \right)^{2.5} \right] \times \left[\frac{\theta}{90} \right]^{0.5}$$

$$f = \left[0.131 + 1.847 \cdot \left(\frac{0.914}{2 \cdot 0.457} \right)^{2.5} \right] \times \left[\frac{90}{90} \right]^{0.5}$$

$$f = [0.131 + 1.847 \cdot 1] \times [1]$$

$$f = 1.978$$

Nilai kerugian pada elbow 90°:

$$h_{min} = f \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{min} = 1.978 \frac{2.618^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_{min} = 1.978 \frac{6.853}{19.62}$$

$$h_{min} = 1.978 \cdot 0.349$$

$$h_{min} = 0.69 \text{ m}$$

Karena terdapat 3 elbow 90°, maka:

$$h_{min} = 0.69 \times 3$$

$$h_{min} = 2.07 \text{ m}$$

- Perhitungan Head Total

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) + H_{maj} + h_{min} - h_p$$

Kemudian dengan mengetahui bahwa ujung instalasi adalah terbuka, maka:

$$a. P_2 = 0$$

$$b. V_1 = V_2$$

Sehingga persamaan diatas menjadi:

$$H_p = z_2 + h_{maj} + h_{min} - \left(\frac{P_1}{\rho} + z_1 \right)$$

$$H_p = 28 + 0.0994 + 2.07 - \left(\frac{11.500}{9690} + 4 \right)$$

$$H_p = 28 + 0.0994 + 2.07 - 5.186$$

$$H_p = 24.983 \text{ m}$$

Maka dari hasil perhitungan head total pompa adalah 24,983 meter.

Perhitungan Daya Air

Menghitung Daya Air dengan rumus :

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_p$$

$$P_{air} = 988,07 \cdot 9,81 \cdot 1,718 \cdot 24,983$$

$$P_{air} = 416.029 \text{ watt}$$

$$P_{air} = 416,029 \text{ kW}$$

Maka, daya air yang pada instalasi ini didapat sebesar 416,029 kW.

Perhitungan Daya Motor

Menghitung Daya Motor dengan rumus :

$$P_{motor} = \sqrt{3} \cdot \cos \phi \cdot \text{Volt} \cdot I$$

$$P_{motor} = 1,73 \cdot 0,83 \cdot 6300 \cdot 78$$

$$P_{motor} = 705.601 \text{ watt}$$

$$P_{motor} = 705,601 \text{ kiloWatt}$$

Daya motor yang diberikan terhadap daya air sebesar 416,029 adalah sebesar 705,601 kW.

Perhitungan Efisiensi Pompa

Menghitung Efisiensi Pompa dengan rumus :

$$\eta_{p^2} = \frac{P_{air}}{P_{motor}} \times 100$$

$$\eta_{p^2} = \frac{416,029}{705,601} \times 100$$

$$\eta_p = \sqrt{0,589} \times 100$$

$$\eta_p = 0,767 \times 100$$

$$\eta_p = 76,7 \%$$

Maka efisiensi pada pompa yang didapat adalah 76,7 %.

Perhitungan Daya Pompa

Menghitung Daya Pompa dengan rumus :

$$P_p = \frac{P_{air}}{\eta_p}$$

$$P_p = \frac{416,029}{76,7 \%$$

$$P_p = 542,410 \text{ kW}$$

Daya pompa yang diberikan terhadap daya air sebesar 416,029 adalah sebesar 542,410 kW.

Perbandingan Antara Data Spesifikasi, Data Commissioning Pompa Dengan Data Hasil Analisis

Tabel 3. 6 Perbandingan Data Spesifikasi, Data Commissioning Dengan Data Hasil Analisis

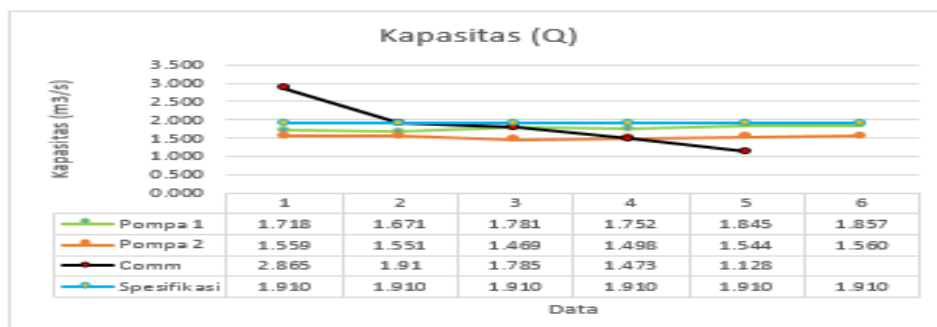
Keterangan	Spesifikasi Data Pompa	Data Commissioning	Hasil Analisis
Head (H)	32 m	33,2 m	24,9 m
Daya Motor (Pm)	900 kW	748,29 kW	705,601 kW
Daya Pompa (Pp)	630,000 kW	613,000 kW	542,410 kW
Massa Jenis Air di Suhu 50° (ρ)	988,07 kg/m ³	988,07 kg/m ³	988,07 kg/m ³
Berat Jenis Air di Suhu 50° (γ)	9690 N/m ³	9690 N/m ³	9690 N/m ³
Gravitasi (g)	9,81 m/ det ²	9,81 m/ det ²	9,81 m/ det ²
Debit (Q)	1,91 m ³ /s	1,91 m ³ /s	1,718 m ³ /s
Efisiensi Total (η)	86 %	82,8 %	76,7 %

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada analisis performa pompa Main Cooling Water Pump ini dihitung berdasarkan kapasitas, head, daya air, daya motor, efisiensi dan daya pompa yang dibutuhkan pada saat commissioning, yang kemudian dibandingkan dengan hasil analisis aktual dan spesifikasi. Hasil analisis dapat dilihat sebagai berikut ini.

1. Analisis Kapasitas Pompa Spesifikasi, Commissioning dan Aktual Pompa 1 & 2.

Berikut grafik hasil data perhitungan kapasitas pompa spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2 :



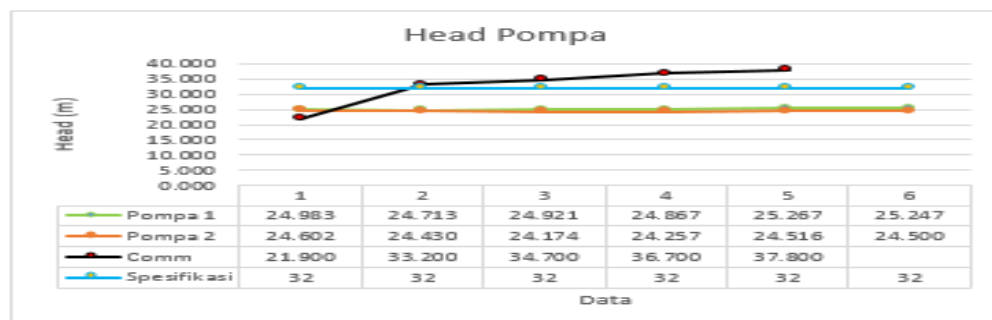
Gambar 4. 1 Grafik hasil data perhitungan kapasitas spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2.

Pada gambar diatas terlihat bahwa kapasitas pompa dari hasil perhitungan menunjukkan hasil kapasitas pompa 1 dan pompa 2 adalah berbeda. Dapat dilihat juga bahwa terdapat perbedaan antara kapasitas pompa aktual, kapasitas pompa commissioning dan kapasitas pompa spesifikasi. Hal ini dikarenakan terjadi kerugian dalam saluran pipa pompa. Antara lain hambatan dari jenis bahan pipa, dan hambatan fitting yg terdapat juga di pipa saluran pompa.

Dan nilai kapasitas aktual pompa 1 tertinggi berada pada data no 6 atau pada hari ke 3 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai kapasitas 1,857 m³/s. Sedangkan pompa 2 tertinggi berada pada data yang sama, yaitu dengan nilai kapasitas 1,560 m³/s. Dan nilai kapasitas aktual pompa 1 terendah berada pada data no 2 atau pada hari ke 1 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai kapasitas 1,671 m³/s. Sedangkan pompa 2 terendah berada pada data no 3 atau pada hari ke 2 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai kapasitas 1,469 m³/s.

2. Analisis Head Pompa Spesifikasi, Commissioning dan Aktual Pompa 1 & 2.

Berikut grafik hasil data perhitungan head pompa spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2 :



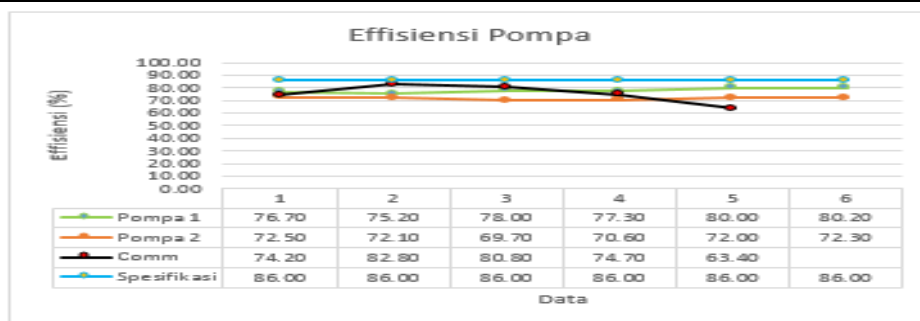
Gambar 4. 2 Grafik hasil data perhitungan head spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2.

Pada gambar diatas terlihat bahwa head pompa dari hasil perhitungan menunjukkan hasil head pompa 1 dan pompa 2 adalah berbeda. Dapat dilihat juga bahwa terdapat perbedaan antara head pompa aktual, head pompa commissioning dan head pompa spesifikasi. Hal ini dikarenakan terjadi kerugian dalam saluran pipa pompa. Antara lain hambatan dari jenis bahan pipa, dan hambatan fitting yg terdapat juga di pipa saluran pompa, serta karena daya motor yang mengalami penurunan.

Dan nilai head aktual pompa 1 tertinggi berada pada data no 5 atau pada hari ke 3 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai head 25,267 meter. Sedangkan pompa 2 tertinggi berada pada data no 1 atau pada hari ke 1 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai head 24,602 meter. Dan nilai head aktual pompa 1 terendah berada pada data no 2 atau pada hari ke 1 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai head 24,713 meter. Sedangkan pompa 2 terendah berada pada data no 3 atau pada hari ke 2 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai head 24,174 meter.

3. Analisis Efisiensi Spesifikasi, Commissioning dan Aktual Pompa 1 & 2.

Berikut grafik hasil data perhitungan efisiensi pompa spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2 :



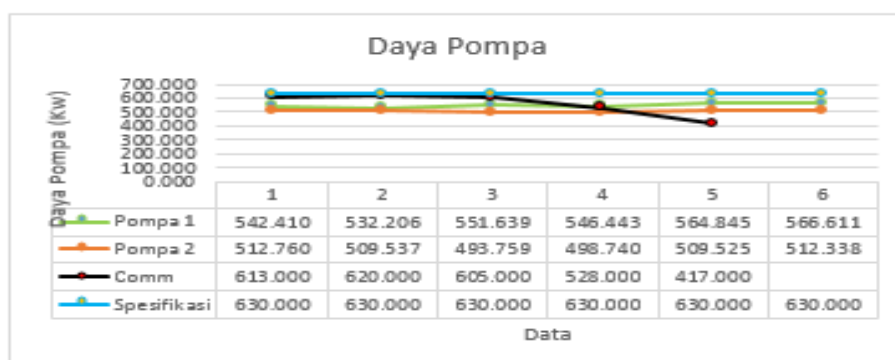
Gambar 4. 3 Grafik hasil data perhitungan efisiensi spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2

Pada gambar diatas terlihat bahwa efisiensi pompa dari hasil perhitungan menunjukkan hasil efisiensi pompa 1 dan pompa 2 adalah berbeda. Dapat dilihat juga bahwa terdapat perbedaan antara efisiensi pompa aktual, efisiensi pompa commissioning dan efisiensi pompa spesifikasi. Hal ini terjadi karena daya air dan daya motor yang mengalami penurunan dari data commissioning dan data spesifikasi.

Dan nilai efisiensi aktual pompa 1 tertinggi berada pada data no 6 atau pada hari ke 3 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai efisiensi 80,20 %. Sedangkan pompa 2 tertinggi berada pada data no 1 atau pada hari ke 1 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai efisiensi 72,50 %. Dan nilai efisiensi aktual pompa 1 terendah berada pada data no 2 atau pada hari ke 1 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai efisiensi 75,20 %. Sedangkan pompa 2 terendah berada pada data no 3 atau pada hari ke 2 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai efisiensi 69,70 %

4. Analisis Daya Pompa Spesifikasi, Commissioning dan Aktual Pompa 1 & 2

Berikut grafik hasil data perhitungan daya pompa spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2 :



Gambar 4. 4 Grafik hasil data perhitungan daya spesifikasi, commissioning dan aktual pompa 1 & 2

Pada gambar diatas terlihat bahwa daya pompa dari hasil perhitungan menunjukkan hasil daya pompa 1 dan pompa 2 adalah berbeda.

Dapat dilihat juga bahwa terdapat perbedaan antara daya pompa aktual, daya pompa commissioning dan daya pompa spesifikasi. Hal ini terjadi karena daya air, daya motor, dan efisiensi yang mengalami penurunan dari data commissioning dan data spesifikasi. Dan nilai daya aktual pompa 1 tertinggi berada pada data no 6 atau pada hari ke 3 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai daya 566,611 kW. Sedangkan pompa 2 tertinggi berada pada data no 1 atau pada hari ke 1 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai daya 512,760 kW. Dan nilai daya aktual pompa

1 terendah berada pada data no 2 atau pada hari ke 1 jam 12:00 siang, yaitu dengan nilai daya 532,206 kW. Sedangkan pompa 2 terendah berada pada data no 3 atau pada hari ke 2 jam 00:00 malam, yaitu dengan nilai daya 493,759 kW.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan di bab III dan hasil analisis di bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis, aliran air pada instalasi pompa mengalami turbulen.
2. Dari hasil perhitungan, head total dan nilai head aktual pompa 1 dan 2 tertinggi berada pada data no 5 atau pada hari ke 3 jam 00:00 siang. Yaitu dengan nilai head 25,267 meter. Dan nilai head aktual pompa 1 dan 2 terendah berada pada data no 2 atau pada hari ke 1 jam 12:00 siang. Yaitu dengan nilai head 24,713 meter.
3. Daya air yang dibutuhkan pada head 24,983 meter yaitu sebesar 416,029 kW.
4. Efisiensi pompa pada hasil perhitungan di dapat sebesar 76,7 %, pada commissioning pompa didapat sebesar 82,8 %, dan pada spesifikasi pompa didapat sebesar 86 %.
5. Dari hasil analisis yang mencakup kapasitas, head, daya, dan efisiensi dapat ditarik kesimpulan bahwa pompa mengalami penurunan performa.
6. Data analisis mengalami penurunan dari data commissioning dan dari data spesifikasi, salah satu penyebabnya adalah faktor kerugian gesek pada instalasi pompa. Sehingga performa aktual pompa menurun dibandingkan performa spesifikasi.

DAFTAR RUJUKAN

1. Administrator. 2008. Teori Dasar Pompa Sentrifugal.
2. Indarluhsepdyanuri. (2016) : Komponen Pompa Sentrifugal.
3. Manual Book. (1994): Main Cooling Water Pump. Tokyo: Mitsubishi Heavy Industries.
4. Pudjanarsa & Nursuhud. (2012). Mesin Konversi Energi. Surabaya: C.V Andi Offset
5. Suharto, indarto, POMPA SENTRIFUGAL Panduan Lengkap : Standarisasi, Teori, Pemeliharaan, Pembelian, Pengoprasian, maintenance dan troubleshooting, Ray Press, Jakarta 2016.
6. Sularso, dan Haruo, T. (2004):Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
7. Sunarno. (2005). Mekanikal Elektrikal. Yogyakarta: C.V Andi Offset
8. White, Frank. (2015). Fluid Mechanics. University of Rhode Island: McGraw-Hill
9. Jimmy. (2013) : Pengertian Pompa. Sumber:
<http://jimmy1327.blogspot.com/2013/04/pengertian-definisi-dan-klasifikasi.html>
10. <https://docplayer.info/46417928-Analisa-pemeliharaan-pompa-pendingin-utama-mcwp-pada-pt-pln-persero-sektor-pembangkitan-labuhan-angin-laporan-tugas-akhir.html>
11. <https://www.prosesindustri.com/2015/01/pengertian-pompa-sentrifugal-dan.html>
12. <http://eprints.polsri.ac.id/1604/3/BAB%202.pdf>