

Evaluasi Kinerja *Hot Well Pump* Sebelum dan Setelah Perbaikan di PLTP PGE Kamojang Unit IV

Shifa Agustianawati^{1,*}, Ignatius Riyadi Mardiyanto¹, Maridjo¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Kec. Parongpong Kab. Bandung Barat – 40559

E-mail: shifa.agustianawati.tken21@polban.ac.id*

Abstract

The *Hot Well Pump* plays a pivotal role in the primary cooling system of Geothermal Power Plants (PLTP). Issues arising with the *Hot Well Pump* can lead to a reduction in the generated electricity, emphasizing the critical importance of corrective maintenance. Pump performance serves as a crucial parameter in indicating the proper functioning of the pump. This study aims to analyze the impact of corrective maintenance on pump performance. The results demonstrate an increase in fluid flow rate from 3429.841 m³/h to 3746.420 m³/h, a decrease in pump head from 18.335 m to 17.463 m, an increase in hydraulic power from 167.244 kW to 172.992 kW, a decrease in input power from 369.162 kW to 332.531 kW, a decrease in shaft power from 345.167 kW to 319.121 kW, and an increase in efficiency from 48.407% to 54.721%. This performance improvement substantiates the effectiveness of corrective maintenance, including the replacement of riser pipe 1, upper shaft, O-ring, and shaft sleeve, in enhancing overall pump performance.

Keywords: Geothermal Power Plant, Hot Well Pump, Corrective Maintenance, Pump Performance

Abstrak

Hot Well Pump berperan penting dalam sistem pendinginan utama di PLTP. Permasalahan yang terjadi pada *Hot Well Pump* dapat mengurangi daya listrik yang dihasilkan, sehingga perbaikan berupa *corrective maintenance* menjadi sangat penting. Kinerja pompa menjadi salah satu parameter yang penting untuk dapat menunjukkan operasi yang dijalankan pompa berjalan baik atau tidak. Penulis bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbaikan (*corrective maintenance*) terhadap kinerja pompa. Hasil menunjukkan peningkatan laju alir fluida dari 3429,841 m³/h menjadi 3746,420 m³/h, penurunan *head* pompa dari 18,335 m menjadi 17,463 m, peningkatan daya hidrolis dari 167,244 kW menjadi 172,992 kW, penurunan daya input dari 369,162 kW menjadi 332,531 kW, penurunan daya poros dari 345,167 kW menjadi 319,121 kW, dan peningkatan efisiensi dari 48,407% menjadi 54,721%. Peningkatan kinerja ini membuktikan bahwa perbaikan berupa penggantian *riser pipe 1*, *upper shaft*, *O-ring*, dan *shaft sleeve* berhasil memperbaiki kinerja pompa secara keseluruhan.

Kata Kunci: PLTP, Hot Well Pump, Corrective Maintenance, Kinerja Pompa

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang semakin maju meningkatkan kebutuhan manusia terhadap listrik untuk memenuhi keperluan sehari-hari. Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia karena negara ini terdiri dari kepulauan dan terletak di lintasan Cincin Api Pasifik. Cincin Api Pasifik menyediakan potensi energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik. Potensi energi panas bumi di Indonesia mencapai lebih dari 27 GW, atau sekitar 40% dari potensi *geothermal* global. Dengan potensi ini, energi panas bumi di Indonesia dapat menjadi solusi untuk mengatasi kebutuhan energi nasional yang terus meningkat.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) menggunakan uap panas dari *reservoir* di dalam bumi untuk menghasilkan energi listrik. Uap panas ini, yang merupakan campuran fasa gas dan

cair, mengandung partikel dan memerlukan pemisahan fasa gas dan cair melalui *scrubber*. Setelah melalui *scrubber*, uap panas mengalir melalui turbin yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Air panas yang telah dipisahkan dari uap panas kembali disuntikkan ke dalam bumi untuk digunakan kembali dalam operasi PLTP berikutnya. Uap bekas dari turbin, yang disebut *exhaust steam*, dikondensasikan di dalam kondenser menggunakan air pendingin (*cooling water*). Air hasil kondensasi dialirkan ke *cooling tower* melalui pompa utama, yaitu *hot well pump*.

PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang Unit IV dilengkapi dengan dua *hot well pump*, yaitu *hot well pump* P400A dan P400B, yang berfungsi memompa air kondensat dari *main condenser* untuk dialirkan ke pipa injeksi dan *cooling tower*. *Hot well pump* merupakan komponen krusial dalam sistem pendinginan utama di PLTP.

Masalah pada *hot well pump* dapat menyebabkan gangguan serius dalam operasi PLTP. Sebagai contoh, PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang Unit IV, yang biasanya menghasilkan 60 MegaWatt, hanya menghasilkan 30 MegaWatt karena trip pada *hot well pump* P400A, sehingga hanya satu *hot well pump* yang dapat beroperasi. Dalam kasus tersebut, operasi dengan satu *hot well pump* dapat mengurangi daya listrik yang dihasilkan hingga 50%. Oleh karena itu, ketika terjadi trip pada *hot well pump* P400A, perbaikan *corrective maintenance* perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Corrective maintenance berbeda dengan perawatan terjadwal karena dilaksanakan setelah terjadi kerusakan. Tujuan utama *corrective maintenance* adalah untuk merespon kerusakan dan mengembalikan fungsi komponen atau sistem seperti semula.

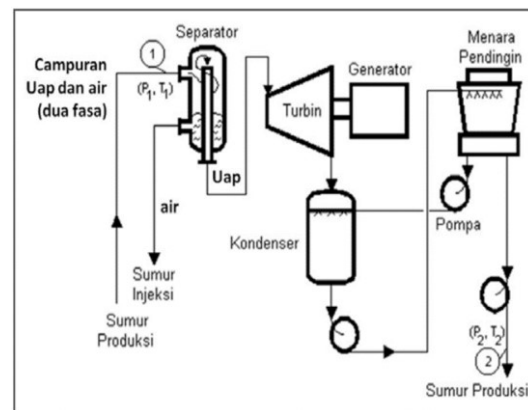
Performa atau kinerja *hot well pump* sangat penting untuk menilai kondisi pompa tersebut. Beberapa parameter yang diperlukan untuk mengevaluasi kinerja pompa meliputi head pompa, laju alir fluida, daya input, daya poros, daya hidrolik, dan efisiensi. Dengan memperhatikan parameter-parameter tersebut, dapat ditentukan apakah sebuah pompa masih mampu mengalirkan fluida sesuai kebutuhan. Oleh karena itu, performa atau kinerja *hot well pump* harus dipantau dan dijaga dengan baik.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh perbaikan terhadap kinerja *Hot Well Pump* P400A di PLTP Kamojang Unit IV.

Penelitian terdahulu yang relevan dengan judul penelitian ini telah dilakukan dan membahas berbagai aspek kinerja pompa sentrifugal. Muhamad, Z., Pratowo, B., dan Putra, F.R (2022), menganalisis kinerja *hot well pump* pada PLTP Ulubelu unit 3 dengan kapasitas 55 MW [9]. Subagyo, R., dan Hendratno, B.R (2021), menyatakan bahwa tidak ada data kinerja pompa sentrifugal aktual yang melampaui data komisioning [14]. Hidayat, W., Biksono, D., dan Zulpian, D (2021), menjelaskan bahwa pengujian menghasilkan kurva pompa sentrifugal *multistage* yang menunjukkan hubungan antara *head* dan debit [6]. Hartono, M.A., dan Aziz, A (2018), mengungkapkan bahwa pompa yang mengalami penurunan efisiensi paling signifikan adalah pompa yang dioperasikan pada kapasitas jauh di bawah kapasitas maksimumnya [17].

1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

PLTP merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas bumi sebagai energi kinetik untuk menggerakkan turbin. Energi panas bumi yang memiliki kadar uap yang tinggi (vapor dominated) akan dialirkan menuju turbin [8].



Gambar 1. Flow diagram PLTP

Prinsip kerja PLTP pada umumnya yaitu fluida panas dari reservoir atau sumur produksi yang mengeluarkan campuran uap, air panas dan partikel-partikel lain dari dalam bumi akan dialirkan menuju separator, untuk dilakukan proses pemisahan partikel-partikel dan kandungan air yang terakumulasi di dalam fluida panas sebelum dilanjutkan menuju turbin. Uap yang sudah mengalami proses pemisahan di separator akan diubah oleh turbin dari energi tekanan menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan memutar rotor generator, lalu generator akan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan ditransmisikan dan didistribusikan kepada masyarakat untuk dimanfaatkan. Uap bekas (*exhaust gas*) memutar turbin akan dialirkan menuju kondenser untuk proses kondensasi. Air hasil kondensasi tersebut atau biasa disebut kondensat akan dialirkan dengan bantuan pompa pendingin utama menuju *cooling tower* untuk didinginkan lalu akan diinjeksikan kembali menuju kondenser untuk proses kondensasi selanjutnya dan dialirkan juga menuju *reservoir* agar kontinuitas potensi panas bumi tetap terjaga. Sebagian air panas yang dipisahkan di separator juga disalurkan kembali ke sumur injeksi untuk menjaga tekanan dalam *reservoir* panas bumi dan memastikan kelangsungan produksi panas bumi. Proses ini berulang secara terus-menerus, memanfaatkan energi panas dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan.

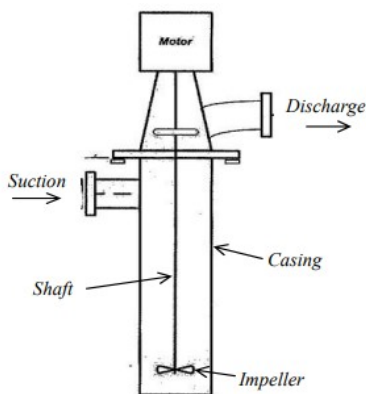
1.2 Hot Well Pump

Hot well pump merupakan pompa air pendingin utama yang termasuk ke dalam jenis pompa sentrifugal dengan konstruksi vertikal. Pompa ini dilengkapi dengan mangkok besar (*can*) yang memiliki fungsi utama sebagai tempat untuk menampung air yang akan dihisap oleh pompa tersebut dan diatur oleh katup pengatur (*control valve*) yang di-setting dengan pengatur pembukaan air di dalam kondensor. Pada saat PLTP beroperasi secara normal, air di alirkan dari kondensor menuju ke bagian atas *cooling tower* dengan dua buah pompa air pendingin utama, yakni *hot well pump*. Kedua *hot*

well pump yang ada di PLTP digunakan untuk mengalirkan air hasil proses kondensasi uap bekas dari kondensor menuju ke *cooling tower* dengan tujuan untuk didinginkan di menara pendingin tersebut.

Pompa-pompa tersebut diputar dengan menggunakan motor listrik. Motor tersebut merupakan motor listrik tipe *AC induction motor 3 phase*.

1.2.1 Prinsip Kerja Hot Well Pump



Gambar 2. Ilustrasi Hot Well Pump

Prinsip kerja *hot well pump* sama seperti pada pompa sentrifugal umumnya yakni mengubah energi mekanis alat penggerak menjadi energi kinetis fluida (kecepatan) kemudian fluida di arahkan ke saluran buang dengan memakai tekanan (energi kinetis sebagian fluida diubah menjadi energi tekanan) dengan menggunakan *impeller* yang berputar di dalam *casing* yang telah dihubungkan dengan saluran hisap (*suction*) dan saluran tekan (*discharge*).

Pompa digerakkan oleh motor. Daya dari motor diberikan kepada poros pompa untuk memutar *impeller* yang terpasang pada poros tersebut. Zat cair yang ada didalam *impeller* akan ikut berputar karena dorongan sudu-sudu. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair akan terhisap melalui saluran hisap yang disebut *suction*, kemudian *impeller* pompa yang berputar akan menghasilkan gaya vertikal yang mendorong fluida ke arah sisi luar sehingga kecepatan fluida meningkat. Kemudian, kecepatan fluida yang tinggi/naik tadi ditampung oleh saluran casing berbentuk *volut* atau *diffuser* dan kemudian fluida disalurkan ke luar pompa melalui saluran tekan yang disebut *discharge*, yang kemudian fluida tersebut akan terus dialirkan ke *cooling tower*. Di dalam pipa inilah sebagian *head* kecepatan di ubah menjadi *head* tekanan.

1.3 Gangguan pada Hot Well Pump

Pompa, seperti halnya alat atau fasilitas lain, rentan mengalami kerusakan. Kerusakan ini sering terjadi akibat kurangnya pemeliharaan komponen-komponen utama pompa. Kerusakan pada komponen utama pompa dapat menyebabkan penurunan kinerja

pompa. Pompa dapat mengalami berbagai gangguan yang bersumber dari tiga aspek utama: masalah isap, masalah hidraulik, dan masalah mekanik.

Masalah isap dapat menyebabkan debit pompa rendah atau tidak stabil, serta pompa mengeluarkan suara gesekan atau bunyi vakum. Penyebab masalah ini meliputi ketinggian air di sumber isap yang terlalu rendah, saluran isap tersumbat oleh kotoran atau udara, dan katup isap bocor atau tidak berfungsi dengan baik.

Masalah hidraulik dapat menyebabkan debit pompa rendah atau tidak stabil, pompa mengeluarkan suara bising atau getaran berlebihan, serta kebocoran air di sekitar pompa. Penyebab masalah hidraulik termasuk kavitasi, kebocoran pada paking pompa, saluran tekan tersumbat oleh kotoran atau benda asing, dan *impeller* pompa rusak atau aus.

Masalah mekanik dapat menyebabkan getaran dan suara bising berlebihan pada pompa, pompa panas berlebihan, serta motor pompa tidak dapat berputar atau mati mendadak. Penyebab masalah mekanik mencakup *misalignment* poros motor dan pompa, bantalan pompa aus atau rusak, kopling pompa longgar atau rusak, dan kerusakan pada motor pompa.

1.4 Perawatan pada Hot Well Pump

"*Maintenance*" atau "perawatan" berasal dari kata "*to maintain*" dalam bahasa Inggris yang berarti "merawat" dan "*to repair*" yang berarti "memperbaiki". Jadi, "*maintenance*" adalah kegiatan untuk merawat dan memperbaiki komponen agar dapat digunakan kembali dan memperpanjang umurnya [1].

Pemahaman tentang permasalahan dan perawatan *hot well pump* sangat penting untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan pompa, mengetahui cara memperbaikinya, dan menerapkan langkah-langkah pemeliharaan yang tepat. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan yang lebih besar di masa depan, menjaga kondisi peralatan dan mesin agar selalu dalam keadaan optimal, serta memperpanjang masa pakainya.

1.4.1 Jenis-Jenis Perawatan

Berikut beberapa jenis *maintenance* yang umum dilakukan pada *hot well pump*:

1.4.1.1 Preventive Maintenance

Preventive maintenance, sebagai bagian dari rangkaian aktivitas pemeliharaan, bertujuan untuk mencegah kerusakan peralatan saat beroperasi.

1.4.1.2 Predictive Maintenance

Mirip dengan perawatan preventif, namun tidak terikat jadwal, *predictive maintenance* bertujuan mengantisipasi kegagalan peralatan sebelum kerusakan total. *Predictive maintenance*

menganalisis kondisi peralatan berdasarkan tren perilakunya, memungkinkan prediksi waktu operasional normal peralatan.

1.4.1.3 Corrective Maintenance

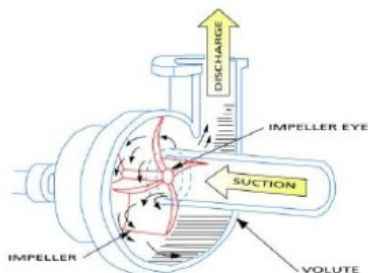
Menurut Ansori dan Mustajib (2013:6), *corrective maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik [3].

Berbeda dengan pemeliharaan terjadwal, *corrective maintenance* dilakukan setelah kerusakan terjadi pada suatu komponen. Tujuannya adalah untuk mengembalikan kehandalan komponen atau sistem ke kondisi semula. Umumnya perawatan jenis ini memiliki kegiatan *overhaul*, inspeksi, dan *reassembly*.

1.5 Kinerja Hot Well Pump

Di dunia industri, memahami kinerja pompa menjadi sangat krusial. Pengetahuan ini dapat diperoleh melalui beberapa parameter, seperti *head* pompa, daya poros, laju alir fluida, daya hidrolisis, dan efisiensi. Parameter-parameter ini menjadi tolok ukur kemampuan pompa dalam mengalirkan fluida sesuai kebutuhan.

1.5.1 Head Pompa



Gambar 3. Saluran suction dan discharge pompa sentrifugal

Head pompa merupakan energi per satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari saluran hisap (*suction*) ke saluran tekan (*discharge*). Pengukuran dilakukan dengan mengukur beda tekanan antara pipa hisap dengan pipa tekan, satuannya adalah meter.

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \times g} \quad (1)$$

dimana:

- H = total *head* (m)
- P₁ = tekanan *suction* (N/m²)
- P₂ = tekanan *discharge* (N/m²)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- g = gaya gravitasi (m/s²)

1.5.2 Daya Hidrolik

Daya hidrolik adalah daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah fluida [8]. Daya hidrolik dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_h = \frac{\rho g H Q}{1000} \quad (2)$$

dimana:

- P_h = daya hidrolik (kW)
- ρ = massa jenis fluida (massa jenis air = 1000 kg/m³)
- g = gaya gravitasi (gaya gravitasi bumi = 9,81 m/s²)
- H = total *head* (m)
- Q = laju alir fluida (m³/s)

1.5.3 Daya Input

Daya Input (P_{in}) adalah daya listrik yang disuplai sumber listrik ke dalam motor induksi. Motor yang digunakan untuk menggerakkan *hot well pump* adalah *AC induction motor 3 phase*. Daya input motor 3 fasa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi}{1000} \quad (3)$$

dimana:

- P_{in} = daya input motor (kW)
- V = tegangan (Volt)
- I = arus (Ampere)
- cos φ = faktor daya atau *power factor*

1.5.4 Daya Poros

Daya poros adalah daya yang harus ditransmisikan oleh poros ke pompa ditambah kerugian daya di dalam pompa, sehingga pompa bisa bekerja sesuai dengan daya hidroliknya. Daya poros pompa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_s = P_{in} \times \eta_m \quad (4)$$

dimana:

- P_s = daya poros (kW)
- P_{in} = daya input (kW)
- η_m = efisiensi motor desain (%)

1.5.5 Efisiensi

Efisiensi *hot well pump* dipengaruhi oleh besarnya daya hidrolik dan daya poros. Berdasarkan data aktual yang ada, efisiensi *hot well pump* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_s} \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

- η_p = efisiensi pompa (%)
- P_h = daya hidrolik (kW)
- P_s = daya poros (kW)

2. Metodologi

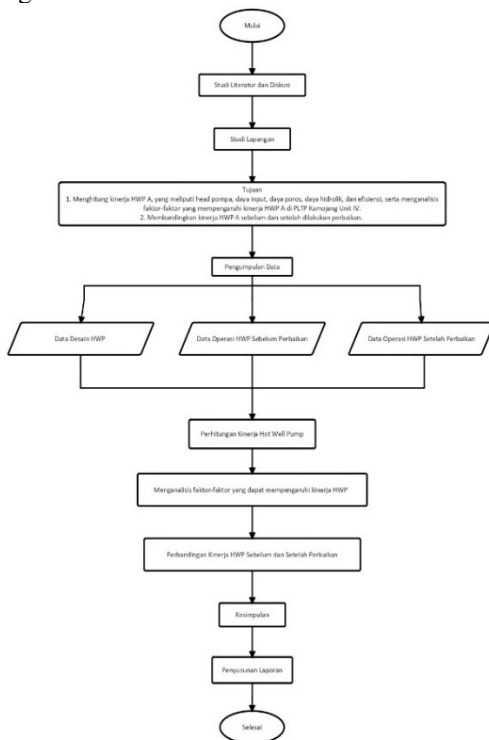
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data sekunder untuk mengidentifikasi kinerja *hot well pump* P400A sebelum dan setelah dilakukan perbaikan.

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data sekunder dari sistem monitoring di PLTP Kamojang Unit IV dan literatur yang tersedia, seperti *technical data sheet*, *manual book*, dan referensi penguji lainnya. Data sekunder dari sistem monitoring di PLTP Kamojang Unit IV terdiri dari data operasi *hot well pump* P400A sebelum dilakukan perbaikan pada tanggal 30 September 2023 s.d. 8 Oktober 2023 (9 hari) setiap jam dan setelah dilakukan perbaikan pada tanggal 12 November 2023 s.d. 20 November 2023 (9 hari) setiap jam.

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dan dianalisis untuk mengidentifikasi tren dan pola kinerja pompa menggunakan metode statistik.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini dirangkum melalui diagram alir. Adapun diagram alir tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat Penelitian

2.2.1 Hot Well Pump P400A



Gambar 5. Hot Well Pump P400A di PLTP PGE Kamojang Unit IV

Hot Well Pump P400A merupakan salah satu pompa air pendingin utama di PLTP Kamojang Unit IV yang digunakan untuk memompa air kondensat yang berasal dari *main condenser* untuk dialirkan ke pipa injeksi dan ke *cooling tower*. *Hot Well Pump* P400A ini dilakukan perbaikan berupa *corrective maintenance* karena mengalami gangguan yang menyebabkan pompa tidak dapat beroperasi. Kegiatan *corrective maintenance* tersebut, meliputi *overhaul*, inspeksi, dan *reassembly*.

Tabel 1. Spesifikasi *Hot Well Pump* P400A

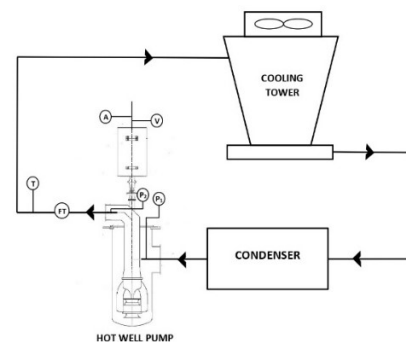
Data Desain	
<i>Manufactured</i>	Torishima
<i>Type</i>	<i>vertical, barrel type centrifugal pump</i>
<i>Quantity</i>	2 sets x 50% capacity
<i>Capacity/pump</i>	4250 m ³ /h
<i>Flow rate (rated)</i>	4250 m ³ /h
<i>(normal)</i>	4250 or near 4250 m ³ /h
<i>(max)</i>	5800 m ³ /h
<i>Density</i>	1000 kg/m ³
<i>Total head</i>	23 m
<i>Liquid pumped</i>	<i>geothermal water</i>
<i>Pumping temperature</i>	51,7 °C
<i>No. of stage</i>	<i>single</i>
<i>Rated efficiency</i>	83,5%

Tabel 2. Spesifikasi motor penggerak *Hot Well Pump* P400A

Data Desain	
<i>Manufactured</i>	Hyundai
<i>Type</i>	<i>AC induction motor</i>
<i>Phase</i>	3
<i>Rated output</i>	400 kW
<i>Rated voltage</i>	6000 V
<i>Frequency</i>	50 Hz
<i>Full load current</i>	55,6 A
<i>Full load speed</i>	592 Rpm
<i>Efficiency</i>	93,5%
<i>Power factor</i>	0,74

2.2.2 Alat Pengukuran

Data operasi aktual *hot well pump* P400A telah dikumpulkan oleh sistem monitoring di PLTP Kamojang Unit IV. Pengukuran setiap data tersebut dilakukan menggunakan alat ukur yang diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Pengukuran data

1. Data *pumping temperature* (T) di dapatkan dengan menggunakan alat ukur *temperature gauge*.
2. Data lajur alir fluida (FT) di dapatkan dengan menggunakan alat ukur *flow transmitter*.
3. Data tekanan *suction* (P_1) dan tekanan *discharge* (P_2) di dapatkan dengan menggunakan alat ukur *pressure gauge*.
4. Data arus (A) di dapatkan dengan menggunakan alat ukur *ampere meter*.
5. Data tegangan (V) di dapatkan dengan menggunakan alat ukur *voltmeter*.

2.3 Bahan Penelitian

Parameter yang digunakan adalah parameter yang termasuk kedalam data untuk perhitungan kinerja *hot well pump*. Data yang digunakan, yaitu data sekunder. Data sekunder adalah data yang didapatkan dari sistem monitoring di PLTP Kamojang Unit IV dan literatur yang tersedia, seperti *technical data sheet*, *manual book*, dan referensi penunjang lainnya.

Tabel 3.
Data parameter perhitungan kinerja *Hot Well Pump P400A*

No	Parameter	Satuan
1.	Tekanan <i>discharge</i>	Barg
2.	Tekanan <i>suction</i>	Barg
3.	Arus	Ampere
4.	Tegangan	Volt
5.	Laju alir fluida	m ³ /h
6.	<i>Pumping temperature</i>	°C
7.	Efisiensi motor desain	%
8.	<i>Power factor</i>	-
9.	Massa jenis fluida	kg/m ³
10.	Gaya gravitasi	m/s ²
11.	Tekanan Atmosfer	Bar

2.4 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan daya hidrolik dan daya input data desain.
2. Perhitungan *head* pompa, daya hidrolik, daya input, daya poros, dan efisiensi *hot well pump* data aktual sebelum dan setelah perbaikan.
3. Perbandingan hasil perhitungan data aktual sebelum dan setelah perbaikan diambil dari sampel pada daya hidrolik yang sama.
4. Pembuatan grafik perbandingan hasil perhitungan data aktual kinerja pompa sebelum dan setelah perbaikan, serta dengan data desain.
5. Membangun model statistik yang menghubungkan parameter kinerja pompa

dengan variabel lain, dan menilai kekuatan dan arah hubungan antara variabel yang berbeda.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perbaikan (*Corrective Maintenance*) *Hot Well Pump P400A*

3.1.1 *Overhaul*

Pada *overhaul* dilakukan pembongkaran dan pembersihan seluruh komponen pompa. Hasil pemeriksaan *hot well pump* setelah *overhaul* menunjukkan kondisi *upper shaft* (poros atas) patah.

3.1.2 *Inspeksi*

NDT (*Non-Destructive Testing*) digunakan untuk memeriksa kondisi internal komponen tanpa merusaknya. NDT ini digunakan untuk mendeteksi cacat seperti retakan, korosi, atau porositas. Selain itu, dilakukan pengukuran untuk memeriksa dimensi komponen dan memastikan bahwa komponen tersebut masih dalam toleransi yang diizinkan.

Hasil inspeksi ditemukan indikasi *linear* (retak) pada sambungan las *riser pipe*, indikasi bulat (porositas) pada area *spider*, dan ketidaklurusan poros atas sebesar 0,4 mm, melebihi standar manufaktur yaitu 0,21 mm.



Gambar 7. Retakan linear pada sambungan las *riser pipe 1*



Gambar 8. Indikasi bulat khas pada *spider riser pipe 1*

3.1.3 *Reassembly & Install*

Tahap ini melibatkan pemasangan kembali komponen-komponen yang telah dibongkar, dibersihkan, dan diperbaiki selama *overhaul*, serta pemasangan kembali komponen-komponen baru yang diperlukan dan dilakukan pengujian.

Penggantian komponen dengan yang baru dilakukan pada *riser pipe 1*, *upper shaft*, *O ring*, dan *shaft sleeve*.

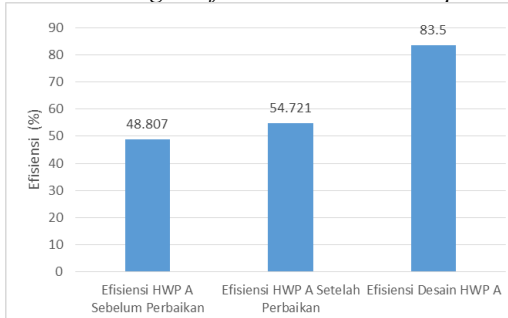
3.2 Hasil Perhitungan Kinerja Hot Well Pump

Hasil perhitungan data aktual sebelum dan setelah perbaikan diambil dari sampel pada nilai daya hidrolik yang sama. Hasil perhitungan tersebut tersedia dalam tabel berikut:

Tabel 4.
Hasil perhitungan kinerja *Hot Well Pump P400A*

Keterangan	Data Desain	Data Aktual Sebelum Perbaikan	Data Aktual Setelah Perbaikan
Laju alir fluida (m ³ /h)	4250	3484,155	3592,855
Total Head (m)	23	17,787	17,294
Daya Hidrolik (kW)	266,369	169	169
Daya Input motor (kW)	427,581	366,778	336,678
Daya Poros (kW)	400	342,937	314,794
Efisiensi HWP A (%)	83,5	49,243	53,788
Pumping temperature (°C)	51,7	50,201	50,709

3.3 Perbandingan Efisiensi Hot Well Pump P400A



Gambar 9. Grafik perbandingan efisiensi desain HWP A dengan efisiensi HWP A sebelum dan setelah perbaikan

Berdasarkan Gambar 9, efisiensi aktual pompa berbeda dengan nilai efisiensi yang tercantum dalam data spesifikasi desain karena perbedaan kondisi operasi. Pada data spesifikasi desain, efisiensi pompa ditentukan pada kondisi operasi ideal, sedangkan dalam operasi aktual, kondisinya berbeda-beda.

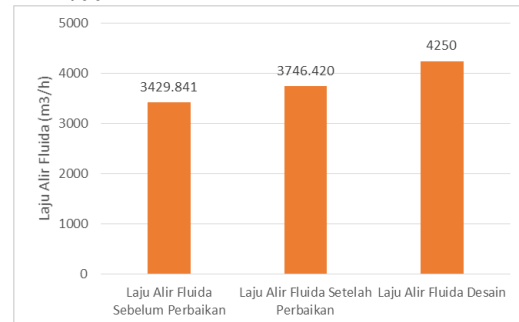
Nilai efisiensi HWP A bergantung pada beban yang dihasilkan PLTP. Hal ini sesuai dengan data desain yang menunjukkan bahwa pompa tersebut didesain untuk menghasilkan efisiensi sebesar 83,5% pada beban penuh PLTP (60 MW). Namun, dalam praktiknya, beban PLTP tidak selalu 60 MW. Perubahan beban PLTP dapat menyebabkan efisiensi HWP A bervariasi.

Gambar 9 menunjukkan kenaikan efisiensi HWP A sebelum dan setelah dilakukan perbaikan. Nilai rata-rata efisiensi HWP A setelah perbaikan mencapai 54,721%. Kenaikan efisiensi ini disebabkan oleh kegiatan *corrective maintenance*. Pada perbaikan ini dilakukan *overhaul*, inspeksi, dan *reassembly*, termasuk pembersihan, perbaikan, dan penggantian komponen yang rusak seperti *riser pipe 1*, *upper shaft*, *O-ring*, dan *shaft sleeve*.

Kenaikan efisiensi yang terbilang kecil disebabkan karena perbaikan berfokus pada komponen yang tidak secara signifikan mempengaruhi efisiensi keseluruhan pompa seperti

impeller. Selain itu, sebelum dilakukan perbaikan, sistem pompa sudah berjalan hampir optimal, sehingga potensi peningkatan efisiensi setelah perbaikan menjadi terbatas.

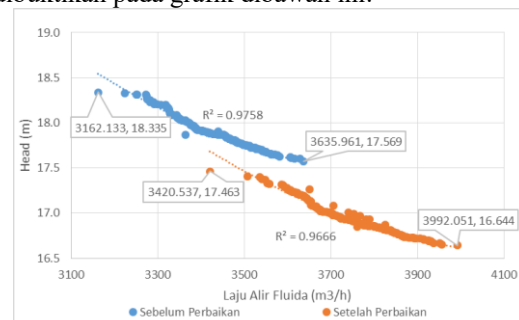
3.4 Perbandingan Laju Alir Fluida Hot Well Pump P400A



Gambar 10. Grafik perbandingan laju alir fluida desain HWP A dengan laju alir fluida HWP A sebelum dan setelah perbaikan

Berdasarkan Gambar 10, laju alir fluida *hot well pump P400A* meningkat setelah perbaikan. Sebelum perbaikan, rata-rata laju alir adalah 3.429,841 m³/h, dan setelah perbaikan meningkat menjadi 3.746,420 m³/h, naik sekitar 9% atau 316,579 m³/h. Peningkatan ini disebabkan oleh pembongkaran, pembersihan, pemeriksaan komponen pompa, dan penggantian komponen rusak seperti *upper shaft*, *riser pipe 1*, dan *O-ring*.

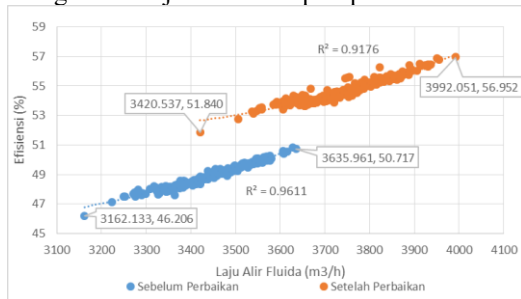
Meskipun laju alir setelah perbaikan tidak mencapai nilai desain, peningkatan ini cukup signifikan mengingat usia pompa yang telah mencapai 14 tahun sejak PLTP Kamojang Unit IV mulai beroperasi pada tahun 2008. Faktor-faktor seperti kavitasi, korosi, dan benda asing juga mempengaruhi kinerja pompa dari waktu ke waktu. Laju alir fluida yang aktual bisa berbeda dari nilai desain karena variasi kondisi operasi seperti suhu, tekanan, dan ketinggian pompa. Meskipun begitu, pompa masih berfungsi dengan baik dan tidak mengganggu operasi PLTP. Laju alir fluida juga dipengaruhi oleh head pompa; semakin tinggi head, laju alir fluida cenderung menurun. Hal ini dibuktikan pada grafik dibawah ini.



Gambar 11. Grafik laju alir fluida terhadap head

Gambar 11 menunjukkan grafik hubungan berbanding terbalik yang kuat antara head dan laju alir fluida. *Head hot well pump* sebelum perbaikan tertinggi mencapai 18,335 m dengan debit 3162,133 m³/h. Semakin tinggi head, debit yang mengalir

menurun, dan sebaliknya, ketika head terendah 17,569 m, laju alir fluida lebih besar yaitu 3635,961 m³/h. Prinsip kerja pompa adalah memindahkan fluida, dan saat head tinggi, laju alir fluida menurun. Setelah perbaikan, hubungan ini tetap, tetapi kinerja pompa meningkat. Nilai laju alir fluida tertinggi mencapai 3992,051 m³/h dan terendah 3420,537 m³/h, menunjukkan bahwa perbaikan efektif meningkatkan laju alir fluida pompa.

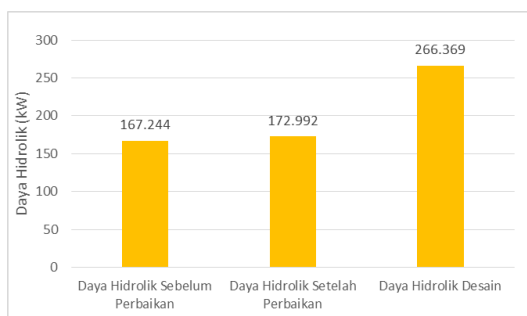


Gambar 12. Grafik laju alir fluida terhadap efisiensi

Berdasarkan Gambar 12, terdapat hubungan berbanding lurus antara laju alir fluida dan efisiensi HWP A. Semakin tinggi laju alir fluida, semakin tinggi efisiensi HWP A, dengan efisiensi tertinggi 50,717% pada laju alir 3635,961 m³/jam dan efisiensi terendah 46,206% pada laju alir 3162,133 m³/jam. Hubungan ini konsisten setelah perbaikan, menunjukkan pola efisiensi terhadap laju alir fluida tetap sama. Efisiensi *hot well pump* bergantung pada jumlah uap yang masuk ke turbin, dengan laju alir fluida sebagai parameter kinerja penting.

Meskipun hubungan laju alir fluida dan efisiensi tetap sama sebelum dan setelah perbaikan, perbaikan meningkatkan kinerja pompa. Gambar menunjukkan peningkatan laju alir fluida tertinggi mencapai 3992,051 m³/jam dengan efisiensi 56,952% dan terendah 3420,537 m³/jam dengan efisiensi 51,840%. Ini menunjukkan bahwa perbaikan efektif meningkatkan laju alir fluida dan efisiensi pompa.

3.5 Perbandingan Daya Hidrolik Hot Well Pump P400A



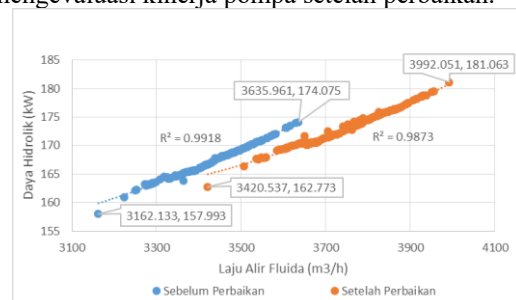
Gambar 13. Grafik perbandingan daya hidrolik desain HWP A dengan daya hidrolik HWP A sebelum dan setelah perbaikan

Gambar 13, menunjukkan setelah dilakukan perbaikan, daya hidrolik *hot well pump* P400A mengalami peningkatan dari rata-rata 167,244 kW menjadi 172,992 kW, meningkat sebesar 3%. Perbaikan ini mencakup pembersihan, perbaikan,

dan penggantian komponen rusak seperti *riser pipe*, *upper shaft*, *O-ring*, dan *shaft sleeve*. Selain itu, peningkatan laju alir fluida dan head pompa juga berkontribusi pada peningkatan daya hidrolik.

Meskipun daya hidrolik meningkat, nilai setelah perbaikan masih belum mencapai daya hidrolik desain. Hal ini disebabkan oleh usia pompa yang telah beroperasi selama sekitar 14 tahun, yang menyebabkan penurunan efisiensi akibat keausan dan kerusakan komponen. Kondisi operasi aktual yang berbeda dari kondisi ideal juga mempengaruhi kinerja pompa.

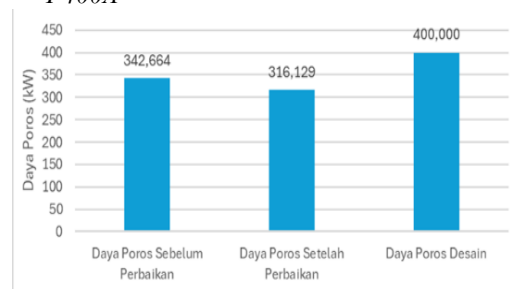
Secara keseluruhan, meskipun tidak mencapai daya hidrolik desain, pompa masih beroperasi cukup efisien untuk memenuhi kebutuhan sistem. Faktor seperti umur pompa, kondisi operasi, dan keterbatasan perbaikan perlu dipertimbangkan dalam mengevaluasi kinerja pompa setelah perbaikan.



Gambar 14. Grafik laju alir fluida terhadap daya hidrolik

Berdasarkan Gambar 14, terlihat hubungan berbanding lurus antara laju alir fluida dan daya hidrolik HWP A. Sebelum perbaikan, laju alir fluida tertinggi adalah 3635,961 m³/h dengan daya hidrolik 174,075 kW, sedangkan laju alir fluida terendah adalah 3162,133 m³/h dengan daya hidrolik 157,993 kW. Setelah perbaikan, pola hubungan ini tetap sama. Daya hidrolik tertinggi mencapai 181,063 kW dan terendah 162,773 kW, menunjukkan bahwa perbaikan efektif meningkatkan kinerja pompa. Daya hidrolik dan laju alir fluida saling terkait, di mana peningkatan salah satu parameter akan meningkatkan yang lainnya, karena pompa membutuhkan lebih banyak energi untuk memindahkan fluida dengan kecepatan lebih tinggi.

3.6 Perbandingan Daya Poros Hot Well Pump P400A



Gambar 15. Grafik perbandingan daya poros desain HWP A dengan daya poros HWP A sebelum dan setelah perbaikan

Berdasarkan Gambar 15, setelah dilakukan perbaikan, daya poros *hot well pump* P400A

menurun dari rata-rata 342,664 kW menjadi 316,129 kW. Hal ini menunjukkan efektivitas perbaikan dalam meningkatkan efisiensi pompa.

Daya poros pompa berhubungan langsung dengan daya input yang diberikan. Semakin tinggi daya input, semakin besar pula daya poros pompa. Hubungan ini terjadi karena poros pompa hanya berputar apabila motor penggeraknya mendapatkan suplai daya listrik.

Penurunan daya poros setelah perbaikan menunjukkan bahwa proses perbaikan efektif dalam meningkatkan efisiensi pompa. Pompa yang efisien membutuhkan daya poros dan daya input yang lebih kecil, karena sebagian besar daya yang disuplai digunakan secara efektif untuk melakukan kerja pada fluida.

Perbaikan dan penggantian komponen pompa yang rusak, seperti *upper shaft* dan *shaft sleeve*, dapat memastikan transfer energi yang efisien dari motor ke *impeller* dan meminimalkan gesekan pada poros, sehingga berkontribusi pada penurunan daya poros.

4. Simpulan

1. Berdasarkan perhitungan, berikut adalah kinerja *Hot Well Pump P400A* di PLTP Kamojang Unit IV. Laju alir fluida sebelum perbaikan adalah 3429,841 m³/h, sedangkan setelah perbaikan adalah 3746,420 m³/h. Head pompa terbesar sebelum perbaikan adalah 18,335 m, sedangkan setelah perbaikan adalah 17,463 m. Daya hidrolis sebelum perbaikan adalah 167,244 kW, sedangkan setelah perbaikan adalah 172,992 kW. Daya input terbesar sebelum perbaikan adalah 369,162 kW, sedangkan setelah perbaikan adalah 332,531 kW. Daya poros terbesar sebelum perbaikan adalah 345,167 kW, sedangkan setelah perbaikan adalah 319,121 kW. Efisiensi pompa sebelum perbaikan adalah 48,407%, sedangkan setelah perbaikan adalah 54,721%.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *Hot Well Pump P400A* meliputi kondisi mekanis pompa, umur pompa, kebersihan komponen, beban PLTP, laju aliran fluida yang melewati pompa, tekanan, dan perbaikan komponen pompa, seperti penggantian *riser pipe 1*, *upper shaft*, *O-ring*, dan *shaft sleeve*.
3. Perbandingan kinerja *Hot Well Pump P400A* sebelum dan setelah perbaikan menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan nilai laju alir fluida yang meningkat setelah perbaikan. Meningkatnya laju alir fluida menunjukkan bahwa pompa dapat memindahkan volume fluida yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat, yang berarti kapasitas operasionalnya meningkat. Peningkatan laju alir fluida ini meningkatkan

kinerja pompa karena laju alir fluida berbanding lurus dengan efisiensi. Selain laju alir fluida, daya hidrolis yang meningkat setelah perbaikan juga menunjukkan peningkatan kinerja pompa. Daya hidrolis dan laju alir fluida saling terkait dan mempengaruhi satu sama lain, di mana peningkatan daya hidrolis memungkinkan laju alir fluida yang lebih tinggi. Peningkatan kinerja juga dibuktikan dari penurunan nilai daya input dan daya poros setelah dilakukan perbaikan. Hal ini mengindikasikan bahwa setelah perbaikan, pompa memerlukan daya input yang lebih kecil, yang berarti efisiensi pompa meningkat. Peningkatan kinerja ini sudah cukup signifikan untuk menunjukkan bahwa pembersihan, perbaikan, dan penggantian komponen yang rusak, seperti *riser pipe 1*, *upper shaft*, *O-ring*, dan *shaft sleeve* berhasil memperbaiki kinerja pompa secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Adigama and D. B. Wibowo, "Penyusunan Schedule Perawatan Sepeda Motor Honda Supra X 125 Sub-Assembly Rem Berbasis Reliability Centered Maintenance (RCM)," Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [2] T. Agarwal, S. Chaudhary and S. Verma, "Effect of Sand Size and Concentration on Erosion in Closed Impeller of Centrifugal Pump," *International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-456*, pp. 1068-10174, 2015.
- [3] N. Ansori and M. Mustajib, *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [4] Fitriyono, A. Azis dan A. Santoso, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Hotwell Pump (HWP) Terhadap," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro UML Vol. 1, No.1*, pp. 1-3, 2020.
- [5] Gogandul, "Gangguan Pada Pompa Sentrifugal Dan Cara Mengatasinya," 14 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://gogandul.com/gangguan-pada-pompa-sentrifugal-dan-cara-mengatasinya/>.
- [6] W. Hidayat, D. Biksono dan D. Zulpian, "Pengujian Kinerja Pompa Sentrifugal Multistage Berkapasitas 118,5 KW pada PLTP Berdasarkan Standar ISO 9906," *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan Vol.5 No.2*, pp. 101-112, 2021.
- [7] H. V. Hoten, A. R. Putra dan N. , "Corrective Maintenance Pompa Sentrifugal P-14

- AVAK,” *Rekayasa Mekanik Vol.5 No.1*, pp. 20-21, 2021.
- [8] A. A. Melkias dan A. N. Salim, “Evaluasi Kinerja Hot Well Pump Tipe Vertical Mixed Flow Centrifugal,” *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 1-3, 2021.
- [9] Z. Muhamad, B. Pratowo dan F. R. Putra, “Analisa Unjuk Kerja Hot Well Pump Unit 3 PLTP Ulubelu,” *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung, Vol 10 No.1*, pp. 28-29, 2022.
- [10] M. Muhtadin, “Perawatan Korektif Pompa Sentrifugal Between Bearing (3003 J) di PT. Pupuk Kujang Cikampek,” Universitas Pasundan Bandung, Bandung, 2017.
- [11] S. Novtafiani, S. Adhikihal dan E. A. Z. Hamidi, “Perancangan Automasi Hotwell Pump dan Gas Extraction System di PLTP Unit IV PT Pertamina Geothermal Energy,” *Senter 2016 978-602-60581-0-2*, pp. 97-99, 2016.
- [12] H. Qinthara, “Peluang Penghematan Energi pada Hotwell Pump di Star Energy Geothermal Wayang Windu Ltd.,” Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2020.
- [13] R. J. Sianturi, “Analisis Kegagalan pada Poros Pompa Sentrifugal Semi-Lean Benfield 107 JA dengan Menggunakan Finite Element Analysis,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [14] R. Subagyo dan B. R. Hendratno, “Analisa Performance Pompa Sentrifugal,” *Jurnal Teknik Mesin Vol.8 No.1*, p. 31, 2021.
- [15] L. Torishima Pump Mfg. Co., Vendor Document PLTP Kamojang Unit IV 1 X 60 MW: Specification for Hot Well Pumps & Technical Specification for Induction Motor for Hot Well Pump, Bandung, 2006.
- [16] M. Whidi, “Menentukan Daya Pompa (Daya Air, Daya Poros, dan Daya Motor),” 12 April 2021. [Online]. Available: <https://www.madewhidi.com/2021/04/menentukan-daya-pompa-daya-air-daya.html>.
- [17] A. M. Hartono and A. Aziz, "Evaluasi Efisiensi Pompa Sentrifugal pada Unit Pengolahan Air Minum Pusat Distribusi Cilincing," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 14, no. 1, pp. 1-10, 2018.