

P-702 Centrifugal Pump Damage Analysis Insights and Implications

P-702 Analisis Kerusakan Pompa Sentrifugal Wawasan dan Implikasi

Keigant Abdullah Barafi^{1*}, A'rasy Fahrudin²

* Email corresponding author: keigenabdullah12@gmail.com

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jl. Mojopahit No. 666 B, Sidowayah, Celep, Kec. Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61271

Abstract. *Centrifugal pumps are widely used in industries for fluid transfer, operating on the rotation of an impeller driven by a prime mover. However, sudden performance drops and operational instability pose significant challenges, impacting overall system efficiency. Predictive maintenance relies on vibration analysis to assess rotating equipment condition, with vibration patterns indicating potential issues such as cavitation and corrosion. Prolonged cavitation leads to erosion of channel wall surfaces, resulting in structural damage. This study aims to address the knowledge gap in understanding the relationship between pump vibration, cavitation, and corrosion. Through comprehensive vibration analysis and examination of pump performance, our research identifies the mechanisms driving pump degradation. The findings highlight the critical role of predictive maintenance in mitigating pump failures and optimizing system performance.*

Keywords – *Centrifugal pumps, Vibration analysis, Cavitation, Corrosion, Predictive maintenance*

Abstrak. Pompa sentrifugal banyak digunakan dalam industri untuk transfer cairan, beroperasi pada putaran impeller yang digerakkan oleh penggerak utama. Namun, penurunan kinerja yang tiba-tiba dan ketidakstabilan operasional menimbulkan tantangan yang signifikan, yang berdampak pada efisiensi sistem secara keseluruhan. Pemeliharaan prediktif bergantung pada analisis getaran untuk menilai kondisi peralatan yang berputar, dengan pola getaran yang mengindikasikan potensi masalah seperti kavitasi dan korosi. Kavitasi yang berkepanjangan menyebabkan erosi pada permukaan dinding saluran, yang mengakibatkan kerusakan struktural. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kesenjangan pengetahuan dalam memahami hubungan antara getaran pompa, kavitasi, dan korosi. Melalui analisis getaran yang komprehensif dan pemeriksaan kinerja pompa, penelitian kami mengidentifikasi mekanisme yang mendorong degradasi pompa. Temuan ini menyoroti peran penting pemeliharaan prediktif dalam mengurangi kegagalan pompa dan mengoptimalkan kinerja sistem.

Kata Kunci – Pompa sentrifugal, Analisis getaran, Kavitasi, Korosi, Pemeliharaan prediktif

I. PENDAHULUAN

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat lain, melalui suatu media dengan cara memberikan energi pada cairan yang dipindahkan mengkonversi energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan pompa digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, atau elevasi (ketinggian)[1].

Pada umumnya jenis pompa ada bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan dan kondisi yang diinginkan. Berdasarkan prinsip kerjanya, secara garis besar jenis pompa dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu Pompa kerja Positif (Positive Displacement Pump) dan Pompa kerja dinamis (Non Positif Displacement Pump). Tetapi pada artikel ini penulis membatasi hanya akan membahas mengenai Pompa kerja dinamis (Non Positif Displacement Pump) khususnya Pompa sentrifugal.

Pompa sentrifugal sebagai salah satu jenis pompa yang banyak dijumpai dalam industri, bekerja dengan prinsip putaran impeller sebagai elemen pemindah fluida yang digerakkan oleh suatu penggerak mula. Zat cair yang berada didalam akan berputar akibat dorongan sudu-sudu dan menimbulkan gaya sentrifugal yang menyebabkan cairan mengalir dari tengah impeller dan keluar melalui saluran diantara sudut-sudut dan meninggalkan impeller dengan kecepatan tinggi[2].

Prinsip kerjanya menaikkan tekanan cairan dengan memanipulasi kecepatan, gaya sentrifugal dan mentransformasikan gaya tersebut ke impeller yang berputar di dalam casing untuk membuat perbedaan tekanan pada sisi hisap (suction) dan tekan (discharge). Kinerja pompa ditentukan oleh head, kapasitas dan efisiensi. Head adalah kemampuan dari pompa untuk mengangkat fluida, kapasitas adalah jumlah volume fluida yang berpindah atau dialirkan dalam satuan waktu, efisiensi adalah perbandingan daya pompa dibandingkan dengan energy yang dibutuhkan oleh motor penggerak untuk menjalankan pompa[3].

Salah satu pompa sentrifugal adalah pompa P-702 A, B, C. Pompa yang mengalirkan / mentransferkan air dari bak penampung KCT (kontrol cooling tower) ke semua Unit produksi yang berfungsi sebagai pendingin melalui pipa

CWS (colling water supply) lalu air yang sudah digunakan untuk mendinginkan semua unit dikembalikan melalui pipa CWR (colling water return) lalu didinginkan menggunakan colling tower kembali.

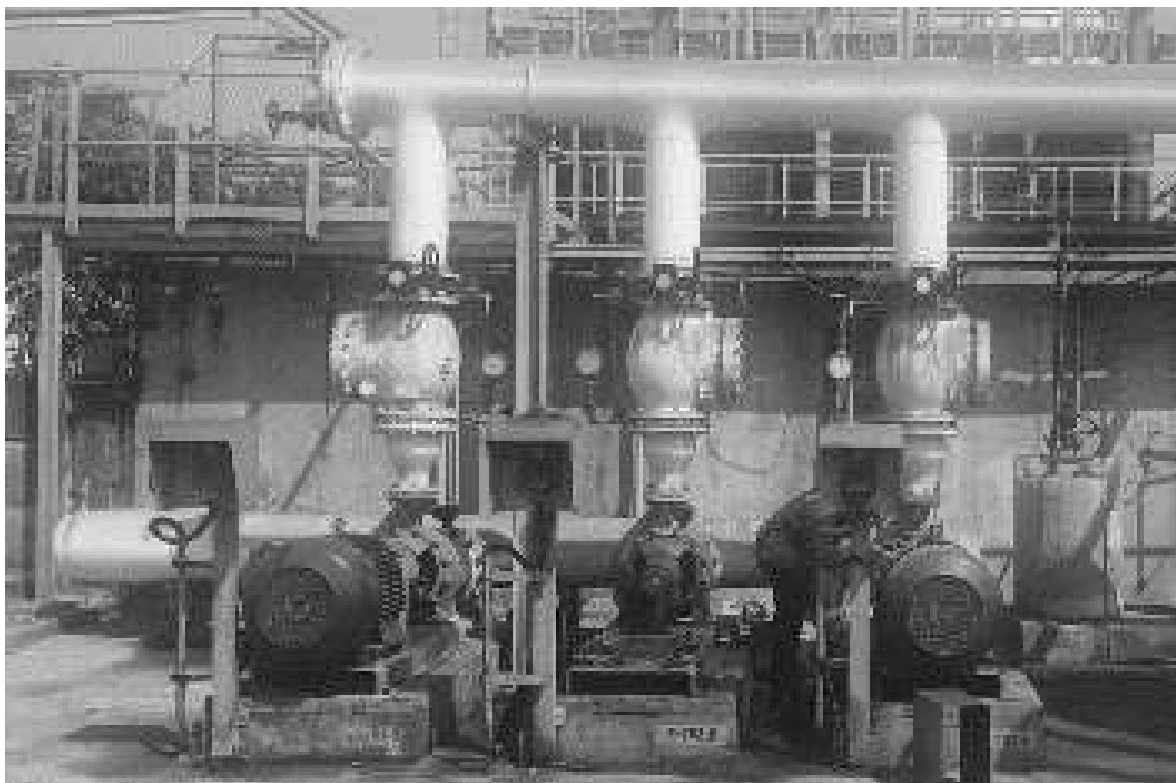
II. METODE

Dalam proses studi ini dilakukan metode eksperimental dalam memperoleh hasil data pengukuran terkait analisis perhitungan head pompa setrifugal[4]. Dalam melakukan penelitian pada pompa P-702 A, B, C dilakukan dengan beberapa pendekatan teknis yaitu :

1. Melakukan kunjungan lokasi serta mengumpulkan data teknis dan data teoritis.
2. Menentukan faktor penyebab utama kerusakan pada pompa.
3. Melakukan Analisa dan perhitungan data.

Penelitian dilakukan di area kontrol *colling tower* (KCT). Untuk menunjang penelitian membutuhkan peralatan *vibration* meter untuk mengukur getaran pada pompa dan motor yang terpasang.

Pompa P-702 A, B, C salah satu peralatan pompa yang mengalirkan air dari bak penampung KCT (Kontrol Colling Tower) ke semua unit yang berfungsi sebagai pendingin. Untuk menjaga kehandalan pompa, disediakan tiga buah pompa dengan kapasitas sama yang dioperasikan dua pompa sekaligus dan satu standby jika ada perbaikan, setiap pompa akan di switch setiap awal bulan.






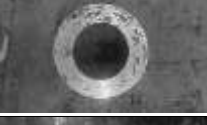


Gambar 2.1 Instalasi Pompa P-702 A, B, C

Sebagai unit pendukung, cooling tower memegang peranan penting dalam kelangsungan produksi, perbaikan dilakukan hanya pada bagian-bagian yang memiliki spare part / cadangan seperti motor, fan, bearing dan shaft. Pompa P-702 A, B, C merupakan pompa rekondisi, dimana pada bulan-bulan sebelumnya pompa tersebut telah dilakukan perbaikan rotor pompa, meliputi perbaikan pada bearing, shaft, wearing, mechanical seal serta balancing impeller.

Pompa tersebut merupakan pompa sentrifugal dengan positif suction. Permasalahan yang ditemui pada pompa ini adalah terjadinya kebocoran, air masuk ke celah diantara shaft dan mechanical seal sehingga air tersebut masuk kedalam rumah bearing yang mengakibatkan shaft menjadi unbalance dan mengakibatkan bushing dan impeller memiliki celah dengan kata lain bushing mengalami perubahan posisi dari tempatnya semula, dan air bisa masuk melalui celah tersebut, dan berakibat vibrasi dan noise pada pompa yang melebihi toleransi yang diperbolehkan.

Tabel 2.1 Komponen utama pompa yang mengalami kerusakan berat.

No	Kerusakan	Visualisasi
----	-----------	-------------

1	Impeller mengalami pengelupasan pada lapisan coating.	
2	Bearing mengalami kerusakan dikarenakan unbalancing pada shaft.	
3	Impeller wearing mengalami keausan.	
4	Bushing impeller mengalami keausan	
5	Pada shaft yang diduduki oleh bearing mengalami keausan	
6	Karet seal pada mechanical seal mengalami kerusakan	

Vibrasi tinggi yang terjadi secara terus menerus menyebabkan beberapa komponen utama pada pompa mengalami kerusakan berat. Kerusakan yang terjadi dapat dilihat pada table diatas ini.

Tabel 2.2 Spesifikasi pompa yang digunakan pada penelitian

No	Deskripsi	Spesifikasi
1.	<i>Manufacture</i>	Stork
2.	No seri	SG 280 m-4
3.	Debit (Q)	300 m ³ /jam
4.	<i>Speed</i>	1485 RPM
5.	<i>Head</i>	60 m
6.	Tipe pompa	<i>Singel stage pump</i>
7.	<i>Discharge pressure</i>	7 kg/cm ²
8.	<i>Suction pressure</i>	1 kg/cm ²
9.	Temperatur	60 °C
10.	Efisiensi	87.5 %

Sistem perpipaan Pompa Sentrifugal P-702 A, B, C yang terdiri dari system perpipaan untuk suction yang menggunakan pipa dengan diameter sebesar 20 inchi, sedangkan untuk system perpipaan system discharge yang menggunakan pipa dengan diameter sebesar 16 inchi. Pompa Sentrifugal P-702 A, B, C memiliki data perpipaan untuk suction seperti tabel dibawah ini :

Tabel 2.3 Data Pipa *Suction*

No	NPS	Item	Jumlah	<i>Loss Coeficient (K)</i>	<i>Total Loss Coeficient (K)</i>
1	20 Inch Galvanize	Pipa 7 m	1	0,15	0,15
2		Strainer	1	5,95	5,95
3		Gate Valve	2	0,15	0,30
4		Tee Branch-Through	2	0,24	0,48

Suction Line 20" Inch Sch 40

Headloss total merupakan penjumlahan dari *headloss* mayor dan *headloss* minor dimana.[5][5]

$$H_{LT} = H_{Mayor} + H_{Minor} \dots\dots (1)$$

Dimana :

H_{LT} : Headloss Total (m)

H_{Mayor} : Headloss Mayor (m)

H_{Minor} : Headloss Minor (m)

Sedangkan Headloss mayor dapat dicari dengan persamaan.

$$HL_{Mayor} = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g} \dots\dots (2)$$

Dimana :

HL_{Mayor} : Headloss Mayor (m)

f : faktor gesekan

L : panjang pipa (m)

D : diameter dalam pipa (m)

v : kecepatan aliran fluida (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Headloss minor dapat dicari dengan persamaan.

$$HL_{Minor} = n_1 \cdot K_1 \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots (3)$$

Dimana :

HL_{Minor} : Headloss Minor (m)

v : kecepatan aliran fluida (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

K : koefisien gesek yang dijumlahkan dari fitting pipa

n : jumlah fitting

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Head pompa adalah head total yaitu merupakan selisih head pada sisi discharge dengan head pada sisi suction yang dinyatakan dengan satuan panjang. Pada head pompa ini terdiri dari : Head pressure, Head kecepatan, Head potensial dan Headloss. Head pompa dapat di hitung berdasarkan instalasi atau sistem perpipaan. Berikut merupakan perhitungan head perpipaan Pompa Sentrifugal P 702 A, B, C.

Perhitungan pada head suction

Diketahui:

L : 7 m

Q : 300 m³/jam = 0,083 m²/detik

D : 20 inch = 477 mm = 0.477 m

μ air 35° : 0,801 x 10⁻³ m/s

k (Pipa Galvanize) : 0,15 mm

K₁ (Strainer) : 5,95

K₂ (Gate Valve) : 0,15

K₃ (Tee Branch) : 0,24

Perhitungan headloss dilakukan menggunakan persamaan :

$$H_s = \frac{P_s}{\gamma} = \frac{P_o}{\gamma} \pm z_s - h_{ls} - \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \dots\dots (4)$$

Kecepatan suction dapat dicari dengan menggunakan debit dimana :

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \dots\dots (5)$$

Nilai yang digunakan pada d yaitu pipa yang memiliki diameter 20" inch = 477 mm = 0,477 m, sehingga :

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{0,083 \text{ m}^2/\text{s}}{\frac{3,14}{4} \cdot 0,477^2 \text{ m}^2} = 0,46 \text{ m/s} \dots\dots (6)$$

Sedangkan untuk mencari headloss pada kondisi suction (HL_{Mayor}) digunakan persamaan.

$$HL_{Mayor} = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g} \dots\dots (7)$$

Nilai f didapatkan dari gesekan antara aliran fluida pada pipa. Untuk menghitung nilai f tersebut maka perlu dicari nilai *Reynolds number* terlebih dahulu.

$$Re = \frac{v_s \cdot D}{\mu} \dots\dots (8)$$

$$Re = \frac{0,46 \text{ m/s} \cdot 0,477 \text{ m}}{0,801 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$Re = 273.932584$$

Jika nilai Reynolds number sudah dihitung maka selanjutnya menghitung nilai relative roughness untuk menunjukkan nilai friction factor pada diagram moody.

$$\text{Relative roughness} = \frac{k}{D} = \frac{0,15 \text{ mm}}{477 \text{ mm}} = 0,0003 = 3 \times 10^{-4}$$

Reynolds number menunjukkan bahwa fluida mengalir turbulenta pada pipa. Nilai relative roughness yang dimiliki pipa 0,0003. Dengan menggunakan diagram moody nilai friction factor didapatkan sebesar 0,015.

$$HL_{Mayor} = 0,015 \cdot \frac{7 \cdot \left(\frac{0,46 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2}{0,477 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$HL_{Mayor} = 0,002 \text{ m}$$

Selanjutnya perlu dilakukan perhitungan headloss minor yang menyangkut koefisien gesekan pada aksesoris pipa dimana :

$$HL_{Minor} = n_1 \cdot K_1 \frac{v^2}{2 \cdot g} + n_2 \cdot K_2 \frac{v^2}{2 \cdot g} + n_3 \cdot K_3 \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots (9)$$

$$HL_{Minor} = 1 \cdot 5,95 \cdot \frac{0,46^2}{2 \cdot 9,81} + 2 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,46^2}{2 \cdot 9,81} + 2 \cdot 0,24 \cdot \frac{0,46^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$HL_{Minor} = 0,072 \text{ m}$$

Head suction merupakan jumlah dari *headloss mayor* (HL_{Mayor}) ditambah dengan *headloss minor* (HL_{Minor}), sehingga nilai *head loss total* (H_{LT}) adalah sebesar.

$$H_{LT} = H_{Mayor} + H_{Minor}$$

$$H_{LT} = 0,002 \text{ m} + 0,072 \text{ m}$$

$$H_{LT} = 0,074 \text{ m}$$

Dari perhitungan *head loss suction* nilai pada area hisap sistem pompa relatif rendah untuk menyebabkan kavitasi. Kavitasi terjadi karena tekanan turun dibawah tekanan uap cairan sehingga menyebabkan pembentukan gelembung udara yang dapat merusak pompa dan saluran fluida. Jika head loss suction rendah tanpa kavitasi, bisa disimpulkan dari area sistem isap pompa memiliki desain yang baik atau tekanan hisap yang memadai untuk mencegah terjadinya kavitasi, namun tekanan discharge pada pompa yang diperlukan cukup tinggi sehingga bisa menimbulkan kerusakan pada impeller maupun komponen pompa yang lain.

Pompa sentrifugal adalah perangkat mekanis yang mengubah energi mekanis menjadi energi kinetik dalam aliran fluida dengan memanfaatkan prinsip sentrifugal. Vibrasi pada pompa sentrifugal dapat berasal dari beberapa faktor, dan pemahaman tentang hal ini penting untuk memelihara dan mengoperasikan pompa dengan baik. Berikut ini adalah data record dalam rangkaian untuk melakukan predictive maintenance.



Gambar 3.1 Data Record Vibrasi September – Oktober

Analisa vibrasi merupakan kunci keberhasilan predictive maintenance karena kondisi peralatan rotating yang sedang beroperasi dapat dilihat pada pola (symptom) vibrasinya[6]. Penulis memperoleh data record vibrasi dari pompa P-702 A, B, C. Dari data record vibrasi tersebut penulis bisa menjadikan acuan kondisi terburuk pompa mana yang harus segera di perbaiki dan mana yang masih bisa dioperasikan, karena jika pompa dioperasikan secara terus-menerus maka akan semakin memperburuk kondisi pompa atau dengan kata lain, akan semakin besar kerugian pada waktu perbaikan pompa. Hal inilah yang terjadi pada pompa P-702 A, B, C dimana operasional pompa berhenti setelah terjadi kerusakan yang parah pada komponen pompa.

Penyebab utama timbulnya vibrasi pada pompa P-702 A, B, C, adalah :

1. Unbalance rotor.

Pompa P-702 A, B, C merupakan pompa rekondisi, dimana telah dilakukan pelapisan pada impeller pompa dengan menggunakan ceramic coating dan balancing. Namun dari hasil penelitian dilapangan terlihat telah terjadi pengelupasan pada lapisan coating impeller.

2. Pengendapan kotoran (Impurities) pada dasar bak.

Cooling tower merupakan unit yang bertugas mendinginkan air dari unit operasi dan mendistribusikan Kembali air pendingin ke unit tersebut melalui pompa P-702 A, B, C. Sebagai unit yang men-support produksi dan tingginya jam operasional, unit cooling tower tidak dapat dilakukan penyetopan operasi sehingga banyak endapan dan kotoran (impurities) pada dasar bak yang ikut terhisap suction pompa sehingga semakin menambah vibrasi dan dapat memicu terjadinya erosi pada sisi isap pompa.

3. Misslignment pada motor dan pompa.

Motor induksi merupakan motor yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya[7]. Alignment merupakan proses menyelaraskan garis tengah poros pompa dengan motor. Alignment berfungsi menjaga vibrasi, noise, menaikkan efisiensi, menurunkan konsumsi energi dan maintenance cost. Dari hasil penelitian dilapangan dalam proses alignment peralatannya masih kurang efektif dikarenakan hanya menggunakan penggaris.

Dari penyebab vibrasi diatas, memicu terjadinya kerusakan pada komponen pompa lainnya seperti shaft menjadi bengkok, kerusakan bearing, kelonggaran mekanis, gesekan (rubbing), noise, korosi serta kerusakan lainnya.

Kekasaran permukaan coating serta terikutnya endapan dan kotoran (impurities) pada suction pompa memicu terjadinya kavitasi dan korosi pada pompa, gelembung uap air yang pecah menyebabkan benturan/tumbukan pada dinding didekatnya karena cairan akan masuk secara tiba-tiba pada ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tersebut. Pecahnya gelembung uap air ini menimbulkan suara berisik dan getaran (vibrasi).

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. 3 Pompa P-702 A, B, C mengalami kerusakan berat pada beberapa komponen pompa yang disebabkan oleh vibrasi yang tinggi pada pompa.
2. Vibrasi tinggi tersebut dipicu oleh kavitasi dan korosi yang menyebabkan un-balance rotor akibat terkelupasnya lapisan coating pada impeller dan terikutnya endapan lumpur pada suction pompa.
3. Kondisi terbaik pompa adalah kondisi dimana pompa dapat bekerja dengan baik tanpa mengalami kavitasi, korosi dan efisiensi yang dicapai relatif baik.
4. Proses alignment juga menentukan vibrasi terhadap pompa dan motor untuk mengurangi dampak negatif dari getaran yang tidak diinginkan. Dengan melakukan penyesuaian yang tepat, dapat meningkatkan efisiensi operasional, mencegah kerusakan, dan memperpanjang umur mesin atau perangkat tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih terhadap seluruh yang telah menyediakan wadah untuk melakukan penelitian dan juga bapak A'rasy Fahrudin selaku dosen pembimbing dalam pelaksanaan magang ini serta teman-teman yang mensupport dalam melakukan penulisan artikel ini.

REFERENSI

- [1] S. Harahap dan M. I. Fakhrudin, "Perancangan Pompa Sentrifugal Untuk Water Treatment Plant Kapasitas 0.25 M3/S Pada Kawasan Industri Karawang," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.* 2018, hal. 1–9, 2018.

- [2] dan Z. L. Iswan Ansukarto Sukardi, Ikhwansyah Isranuri, “Studi Awal Kajian Bubble Pada Pompa Sentripugal Yang Diukur Dengan Sinyal Vibrasi,” *J. Din.*, vol. I, no. 11, hal. 1–13, 2012.
- [3] A. E. Kristiyono dan M. R. Gunarti, “Pengaruh Jumlah Sudu Sentrifugal Impeller Terhadap Kapasitas Dan Efisiensi Pompa Sentrifugal,” *J. 7 Samudra*, vol. 3, no. 1, hal. 26–34, 2018, doi: 10.54992/7samudra.v3i1.30.
- [4] E. P. Putro, E. Widodo, A. Fahrudin, dan I. Iswanto, “Analisis Head Pompa Sentrifugal Pada Rangkaian Seri Dan Paralel,” *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 2, hal. 46–56, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i2.10671.
- [5] I. A. Gunawan, M. arif, D. Albari, Z. Lillahulhaq, Syamsuri, dan A. R. Dwicahyani, “Perancangan dan Analisa Sistem Perpipaan Pompa Sertifugal P.100/15 pada Unit Kilang Cepu,” hal. 449–455, 2021.
- [6] S. Hariady, “Analisa Kerusakan Pompa Sentrifugal 53-101C Wtu Sungai Gerong Pertamina Ru Iii Plaju,” *J. Desiminasi Teknol.*, vol. 2, no. 1, hal. 29–42, 2014.
- [7] M. Sayid, I. Abdillah, dan E. A. Zuliari, “Analisa Kinerja Motor Induksi 3 Fasa Pada Pompa Sentrifugal Di Favehotel Rungkut Surabaya,” *Inst. Teknol. Adhi Tama Surabaya*, hal. 605–610, 2018.