

EVALUASI KINERJA *POSITIVE DISPLACEMENT PUMP* DI *GREASE PLANT, PRODUCTION UNIT* JAKARTA PT. PERTAMINA LUBRICANTS

¹Kautsar Luthfian Ramadhan, ¹Hardjono, ²Hersudin

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PUJ PT. Pertamina Lubricants, Jalan Jampea No. 1 Tanjung Priok Koja, Kota Jakarta Utara, Daerah
Khusus Jakarta 14220, Indonesia

Kautsarluthfian@gmail.com; [hardjono@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Positive displacement pump merupakan instrumen krusial penunjang *grease manufacturing* di PT. Pertamina Lubricants. Pompa bekerja dengan memindahkan fluida melalui ruang tertutup dari sisi masuk ke sisi keluar menggunakan elemen penggerak seperti piston, roda gigi, atau diafragma. Instrumen ini menghasilkan aliran transfer fluida yang konstan dan bertekanan, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan aliran presisi dan dapat menangani cairan kental atau berpartikel. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *positive displacement pump* melalui metode observasi lapangan dan perhitungan *mechanical energy balance*, beserta dengan factor-faktor yang mempengaruhinya di lingkungan *grease plant*, PT. Pertamina Lubricants. Hal ini akan meningkatkan efisiensi kinerja pompa dan membantu mengurangi biaya operasional perusahaan. Setelah dilakukan observasi dan riset pada salah satu pompa didapati bahwa efisiensi kerja pompa bernilai 25.8% dibandingkan dengan sejak pertama kali digunakan.

Kata kunci: *fluida, grease manufacturing, mechanical energy balance, positive displacement pump, PT. Pertamina Lubricants*

ABSTRACT

Positive displacement pump is a crucial instrument to support *grease manufacturing* at PT. Pertamina Lubricants. The pump works by moving fluid through a closed space from the inlet to the outlet using a driving element such as a piston, gear, or diaphragm. This instrument produces a constant, pressurized fluid transfer flow, suitable for applications requiring precise flow and can handle viscous or particulate fluids. This research is aimed to evaluating *positive displacement pump* performance through field observation methods and *mechanical energy balance* calculations, along with the factors that influence it in the *grease plant* environment, PT. Pertamina Lubricants. This will increase the efficiency of pump performance and help reduce company operational costs. After conducting observations and research on one of the pumps, it was found that the pump's working efficiency was 25.8% compared to when it was first used.

Keywords: *fluids, grease manufacturing, mechanical energy balance, positive displacement pump, PT. Pertamina Lubricants*

1. PENDAHULUAN

Grease Plant, Production Unit Jakarta PT. Pertamina Lubricants merupakan satu-satunya pabrik *grease* semi otomatis di Indonesia. Dengan segala keahliannya, *Grease Plant* milik PT. Pertamina Lubricants ini menjadi *grease manufacturing* yang terdepan dan

Corresponding author: Hardjono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: hardjono@polinema.ac.id



menjadi penyuplai utama kebutuhan *grease* (pelumas gemuk) domestik. Penggunaan metode semi otomatis di *Grease Contactor* sudah dipatenkan sebagai metode paling optimal pada *grease plant* sejak 2016 dengan utilitas penunjangnya salah satunya ialah *positive displacement pump*. [1]

Pompa sendiri merupakan salah satu peralatan penting dalam industri untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain. *Positive displacement pump* adalah jenis pompa yang digunakan untuk memindahkan cairan dengan cara menekan cairan tersebut melalui ruang kecil pada pompa dengan menggunakan gerakan mekanis. *Positive displacement pump* sangat umum digunakan dalam berbagai industri, seperti farmasi, makanan dan minuman, industri minyak dan gas, dimana *grease manufacturing* termasuk di dalamnya. [2]

Meskipun *positive displacement pump* dapat diandalkan dan efisien, namun perlu dilakukan evaluasi dan optimasi kinerja secara rutin untuk memastikan bahwa pompa berfungsi dengan baik dan efisien. Evaluasi kinerja pompa adalah proses untuk memeriksa dan mengukur kinerja pompa, seperti aliran, tekanan, efisiensi, daya, *head*, dan lain-lain [3]. Sementara itu, optimasi kinerja pompa adalah proses untuk meningkatkan kinerja pompa dengan cara memperbaiki masalah dan melakukan perawatan dan pemeliharaan yang tepat. Pada penelitian yang dilakukan pada pompa sentrifugal oleh H. D. Saputra (2015), Kerusakan yang biasa terjadi pada pompa adalah bocor seal/gland packing, vibrasi tinggi, casing bocor, kapasitas menurun, kavitasi, bearing rusak/habis dan korosi. Dengan mengevaluasi kinerja pompa, maka pemahaman dan awareness akan kondisi pompa semakin baik, dan mendorong untuk pengambilan keputusan terbia selanjutnya. [4]

Disisi lain meningkatkan kinerja *positive displacement pump* sangat penting karena dapat membantu mengurangi biaya operasional. Dalam industri, biaya energi adalah salah satu biaya operasional terbesar. Dengan meningkatkan efisiensi pompa, penggunaan energi dapat dikurangi, sehingga biaya operasional dapat ditekan. [5]

Penelitian ini bertujuan untuk evaluasi kinerja *positive displacement pump* P-202 yang terinstalasi pada tangki BOT 202 dan Stratco Contactor C-1. di lingkungan *grease plant*, PT. Pertamina Lubricants serta faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pompa. Selain itu, penelitian ini juga akan membahas tentang cara mengoptimalkan kinerja pompa dengan melakukan perawatan dan pemeliharaan yang tepat, sehingga dapat membantu industri untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional industri.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini ialah observasi lapangan dan perhitungan *mechanical energy balance*. Observasi lapangan dilakukan dengan cara mengumpulkan data spesifikasi pompa dan kondisi pengoperasian seperti *pressure suction area*, *pressure discharge area*, dan ketinggian tangki dan kondisi *pipeline* [6]. Sedangkan perhitungan *mechanical energy balance* dilakukan dengan beberapa rumus yang dibutuhkan untuk perhitungan dalam penelitian ini. Berikut merupakan rumus-rumus yang dibutuhkan untuk perhitungan pada penelitian ini, antara lain [7] :

1. Overall Mechanical Energy Balance

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (1)$$

2. Overall Friction Pipe Loss

$$\Sigma F = 4f \frac{\Delta L}{D} \frac{v^2}{2} + K_{ex} \frac{v_1^2}{2} + K_c \frac{v_2^2}{2} + K_f \frac{v_1^2}{2} \quad (2)$$

3. Overall Pump Efficiency System

$$\eta_{pe} = \frac{-W_s \times m}{P_e \times 1000} \quad (3)$$

4. Ketinggian Base Oil dalam BOT berbentuk Tube Tank

$$z = \frac{V_{mula-mula}}{\pi(\frac{1}{2}D)^2} \quad (4)$$

5. Friction Loss karena Panjang Pipa untuk Aliran Laminar

$$h_{lp} = 4 \frac{16}{NRe} \frac{\Delta L}{D} \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

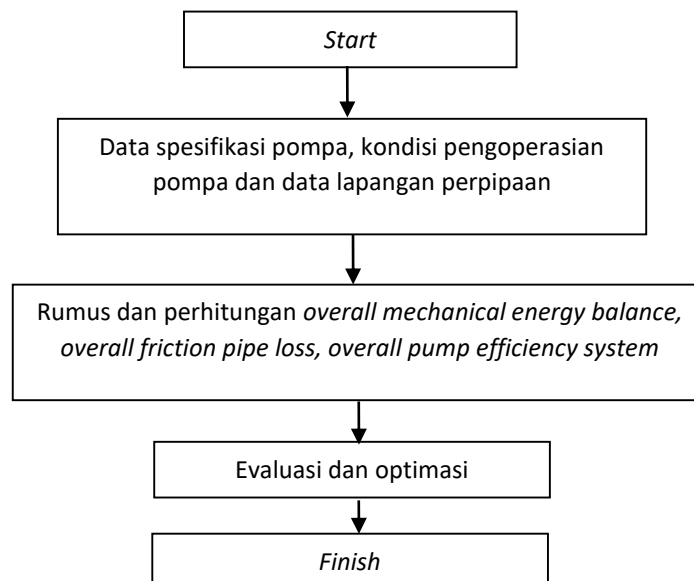
6. Friction Loss karena Ekspansi Pipa

$$h_{ex} = K_{ex} \frac{v_1^2}{2} = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2 \times \frac{v^2}{2a} \quad (6)$$

7. Friction Loss karena Kontraksi Pipa

$$h_c = K_c \frac{v_2^2}{2} = 0.55 \times (1 - \frac{A_2}{A_1}) \times \frac{v^2}{2a} \quad (7)$$

Skema evaluasi kinerja dari *positive displacement pump* dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 1. Skema evaluasi kinerja *positive displacement pump*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kinerja pompa dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah pertama adalah melakukan perhitungan *flowrate* atau *massrate actual*. Kemudian, hasil dari perhitungan tersebut dibandingkan dengan *flowrate* maksimum dari katalog, dilanjutkan dengan mengobservasi parameter kondisi operasi pompa dan menghitung nilai energi kinetik, energi potensial, energi yang disebabkan perbedaan tekanan, dan *friction loss*[8]. Setelah itu, dilakukan pemetaan panjang perpipaan, belokan perpipaan, serta *valve* yang terkoneksi dengan pompa P-202 (*suction area*) menuju *stratco contactor* C-1 (*discharge area*). Melalui data parameter yang didapatkan, dapat dilakukan perhitungan harga -Ws dari *mechanical energy balance* dan mencari nilai *overall efficiency system* (NNE)[9].

Tabel 1. Data parameter yang diobservasi

Parameter	Nilai
Volume Awal BOT 202 (Liter)	13552
Volume Akhir BOT 202 (Liter)	11566
Massa Base Oil yang diumpan (Kg)	1685
Durasi Pemompaan (s)	318
Volumetric Rate Aktual P-202 (m ³ /s)	0.00625
Mass Rate P-202 (Kg/s)	5.299
Densitas Base Oil (Kg/m ³)	848.439
Ketinggian Base Oil dalam Tangki 202 (m)	2.553
Discharge Area Pressure (Pa)	323000
Base Oil Dynamic Viscoucity (Pa.s)	0.1697
Pump Electric Power (kW)	11

GlobalGear® Cast Iron and Carbon/Cast Steel Specifications

Model	Max RPM	USGPM	Nominal Flow Rate	M3/Hr	Nominal Flow Rate
GG015	1800	15	@ 1750 RPM	2.8	@ 1450 RPM
GG030	1800	30	@ 1750 RPM	5.7	@ 1450 RPM
GG070	1500	50	@ 1150 RPM	9.1	@ 920 RPM
GG080	1500	60	@ 1150 RPM	10.9	@ 920 RPM
GG120	1200	75	@ 780 RPM	20	@ 920 RPM
GG130	1000	100	@ 780 RPM	27	@ 920 RPM
GG200	1000	135	@ 640 RPM	31	@ 640 RPM
GG210	800	140	@ 520 RPM	32	@ 520 RPM
GG250	640	200	@ 640 RPM	45.4	@ 640 RPM
GG350	350	350	@ 750 RPM	79.5	@ 750 RPM
GG550	500	550	@ 500 RPM	124.5	@ 500 RPM

Gambar 2. Tuthill positive displacement pump catalog

Melalui data dari katalog pompa *Tuthill* untuk pompa model GG200 yang merupakan model dari P-202 memiliki batas maksimum (80%) debit yaitu 135 US *gallon* / menit atau

setara dengan $31 \text{ m}^3/\text{h}$ [10]. Oleh karena itu, jika nilai efisiensi pompa ditinjau dari perspektif parameter *volumetric rate*, maka akan digunakan rumus konversi satuan actual *volumetric rate*. Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil konversi satuan actual *volumetric rate* ialah sebesar $22.483 \text{ m}^3/\text{h}$. Kemudian, jika digunakan perhitungan rumus 100% kapasitas debit teoritis, maka akan dihasilkan kapasitas debit teoritis sebesar $38.75 \text{ m}^3/\text{h}$. Setelah didapatkan hasil dua perhitungan tersebut, maka dapat dicari nilai efisiensi pompa (η_p) menggunakan rumus perhitungan efisiensi pompa, sehingga dihasilkan nilai efisiensi pompa sebesar 58.02%.

Berikutnya merupakan perhitungan *mechanical energy balance* dimulai dari perhitungan energi kinetis. Secara teoritis kecepatan laju alir (v) pada *positive displacement pump* tidak memiliki perbedaan antara area suction dan area discharge. Dengan asumsi bahwa kecepatan pada kedua titik sama, maka hasil perkalian untuk mencari nilai energi kinetis akan sama dengan nol (0).

Perhitungan energi potensial dilakukan dengan melakukan pengamatan perbedaan ketinggian antara titik *suction* dan titik *discharge* dengan dasar pengamatan ketinggian (Δz) instalasi pompa/datum. Pada area *suction* ketinggian merupakan level tangki mula-mula dan pada area *discharge* ketinggian merupakan posisi ketinggian *base oil* akan diumpangkan ke dalam *contactor* pada perpipaan. Dan untuk percepatan gravitasi (g) = $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$. Melalui *sheet P&ID* dapat diketahui data diameter *vessel* (2.6 m), ketinggian *vessel* (4.6 m), dan ketinggian *vessel* pada *mezzanine* ($z_2 = 5.45 \text{ m}$). Ketinggian *base oil* pada tangki 202 (z_1) dikalkulasi menggunakan formula no. 4, maka nilai $z_1 = 2.553 \text{ m}$. Melalui beberapa parameter-parameter diatas maka nilai atau harga energi potensial didapati sebesar 28.396 J/kg .

Energy Factor Pressure didefinisikan sebagai perwujudan karena adanya pengaruh perbedaan tekanan (ΔP). Pada sistem ini di asumsikan tidak ada terjadinya perubahan suhu yang terlalu berarti pada *base oil* yang diumpangkan sehingga tidak ada perubahan densitas. Karena keterbatasan *pressure gauge* pada area *suction*, maka *pressure* pada area *suction* dihitung menggunakan tekanan hidrostatik *base oil* pada BOT 202 dan didapatkan seharga 21223.3 Pa . Sementara pada area *discharge* digunakan *pressure gauge* dengan satuan kPa. Melalui beberapa parameter-parameter diatas maka nilai atau harga *energy factor pressure* ialah 355.685 J/Kg .

Berikutnya dilakukan perhitungan *Friction loss* pada *pipeline* yang menghubungkan P-202 dengan C-1. Dimulai dari hasil perhitungan *Mayor Friction Loss*, *Expansion Friction Loss*, *Compression Friction Loss*, hingga *fitting and valve friction loss*. Untuk melakukan perhitungan *major friction loss* / friksi karena panjang pipa atau pipa lurus dibutuhkan *coefficient friction factor* (f) untuk aliran laminar senilai 16 dibagi bilangan Reynolds. Perhitungan *friction loss* karena panjang pipa (h_{lp}) pada area suction dari tangki BOT 202 menuju pompa P-202 dengan aliran laminar dilakukan dengan formula no.5, seluruh perhitungan *major friction loss* disajikan pada Tabel 2.

Selanjutnya adalah melakukan perhitungan *friction loss* karena perubahan ukuran pipa. Friksi karena perubahan diameter pipa dari kecil ke besar (*enlargement*) disajikan pada Tabel 3 dan formula perhitungannya seperti pada formula no. 6. Sementara Friksi karena perubahan diameter pipa dari besar ke kecil (*contraction*) disajikan pada Tabel 4 dan formula perhitungannya seperti pada formula no. 7.

Tabel 2. Data perhitungan *mayor friction loss*

Parameter	Suction	Discharge			
		1	2	3	4
Tipe	3" sch 80	3" sch 80	2" sch 80	3" sch 80	2" sch 80
Inside diameter pipa (m)	0.0737	0.0737	0.0493	0.0737	0.0493
Luas Penampang (m ²)	0.0043	0.0043	0.0019	0.0043	0.0019
Kinematic Viscoucity (m ² /s)	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Dynamic Viscoucity μ (Pa.s)	0.1697	0.1697	0.1697	0.1697	0.1697
Volumetric Rate atau Q (m ³ /s)	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
Mass Rate (Kg/s)	5.2987	5.2987	5.2987	5.2987	5.2987
Density (Kg/m ³)	848.4391	848.4391	848.4391	848.4391	848.4391
Panjang Pipa (m)	1.0000	38.7000	5.0000	2.5000	2.1000
v aliran (m/s)	1.4657	1.4657	3.2784	1.4657	3.2784
Nre	539.8117	539.8117	807.4610	539.8117	807.4610
Jenis Aliran	Laminar	Laminar	Laminar	Laminar	Laminar
Friction Factor	0.0296	0.0296	0.0198	0.0296	0.0198
Friction Loss karena panjang pipa	1.7288	66.9065	43.2333	4.3221	18.1580
Total mayor Friction Loss Pipe (J/kg)			134.3487		

Tabel 3. Hasil perhitungan friksi pipa karena ekspansi ukuran pipa

Area Enlargement		Friction loss
Dari	Menuju	
2" sch 80 (area 2)	3" sch 80 (area 3)	3.286
2" sch 80 (area 4)	Contactor	10.748
Total Enlargement Friction Loss (J/kg)		14.033

Tabel 4. Hasil perhitungan friksi pipa karena kontraksi ukuran pipa

Area Contraction		Friction loss
Dari	Menuju	
BOT	3" sch 80 (area 1)	1.182
3" sch 80 (area 1)	2" sch 80 (area 2)	0.653
3" sch 80 (area 3)	2" sch 80 (area 4)	0.653
Total Contraction Friction Loss (J/Kg)		2.488

Tahap terakhir perhitungan *friction loss* pada sistem perpipaan adalah menentukan *friction loss* karena adanya *fitting* (sambungan) dan *valve*. Nilai *coefficient friction* (kf) pada *fitting* dan *valve* untuk aliran *laminar* dirujuk dari Tabel 2.10-2 Geankoplis. Hasil perhitungan *friction loss* karena *fitting* dan *valve* pada sistem perpipaan P-202 disajikan pada Tabel 5.

Setelah mengetahui nilai energi kinetis, energi potensial, energi karena faktor perbedaan tekanan, dan *friction loss*, maka dapat diketahui nilai kinerja pompa secara mekanis atau harga -Ws. Perhitungan harga -Ws disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil perhitungan friksi pipa karena *fitting* dan *valve* untuk aliran laminar

Jenis Fitting	Tipe Pipa	Koefisien friksi	Friction Loss
Gate Valve Wide Open	3" sch 80	0	0.0000000
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
tee	3" sch 80	1.860	0.0000363
Elbow 90°	2" sch 80	0.962	0.0000188
Elbow 90°	2" sch 80	0.962	0.0000188
Gate Valve Wide Open	2" sch 80	0	0.0000000
Tee	2" sch 80	1.593	0.0000311
Tee	2" sch 80	1.593	0.0000311
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Tee	3" sch 80	1.860	0.0000363
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Elbow 90°	3" sch 80	1.118	0.0000218
Globe Valve	3" sch 80	13.068	0.0002548
Elbow 90°	2" sch 80	0.962	0.0000188
Tee	2" sch 80	1.593	0.0000311
Gate Valve Wide Open	2" sch 80	0	0.0000000
Fitting and Valve Friction loss total (J/Kg)			0.0006514

Tabel 6. Hasil perhitungan harga -Ws menggunakan *pump mechanical energy balance*

Parameter	Nilai (J/Kg)
Ek	0
Ep	28.395
Energy Pressure Factor	355.685
Friction Loss	150.871
Total atau -Ws	534.9509

Harga -Ws adalah 534.9509 J/Kg. Nilai *electric power pump* (P_e) di dapatkan dari plat yang ada pada pompa senilai 11 J/Kg. dan dengan menggunakan formula *overall efficiency system* dapat diketahui harga keseluruhan efisiensi pompa pada sistem P-202 menuju C-1. Dengan formula no.3, maka nilai NNE didapati senilai 25.8%.

Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi keseluruhan pompa sebesar 25.8% setelah melewati sistem perpipaan yang panjang. Dengan kata lain, pompa efisiensi kinerja pompa telah menurun sebanyak 74.2% dibandingkan dengan kinerja pompa ketika pertama kali diinstalasi.

Pompa yang beroperasi secara terus-menerus sering dipaksa untuk mencapai efisiensi atau kapasitas maksimumnya, yang akhirnya berdampak negatif pada kinerjanya. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan pompa tambahan yang berfungsi sebagai cadangan dan dapat dioperasikan ketika kondisi tertentu terpenuhi, seperti mencapai titik tekanan diferensial yang ditentukan. Saat pompa mengalami kerusakan, perawatan menjadi penting[11]. Terkadang,

perawatan memerlukan modifikasi atau penambahan pada pompa agar kinerjanya dapat kembali seperti semula. Namun, modifikasi ini juga dapat mempengaruhi efisiensi, karena perubahan pada komponen pompa dapat menyebabkan perbedaan dalam kinerjanya[12].

Selain itu terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan untuk mengoptimasi kerja pompa, seperti melakukan inspeksi secara teratur dan berkala, memeriksa terjadinya kebocoran pada pompa dan sistem perpipaan. Selain itu melakukan pembersihan pada pompa dan sistem perpipaan dapat menghindarkan perpipaan dari kerak dan sedimen yang menyumbat laju alir *base oil*. Selanjutnya menghindari *overload* kerja pompa yang sangat krusial juga untuk dilakukan[13]. melakukan *regreasing* (pelumas), pengencangan baut, dan membersihkan *part electromotor* (pendingin elmo) juga dapat mengembalikan efisiensi pompa[14].

Dalam pemeliharaan pompa terdapat juga faktor kesalahan manusia / operator. Untuk mengurangi risiko ini, langkah mitigasi direkomendasikan, seperti meningkatkan pelatihan operator, menyusun jadwal pemeliharaan yang ketat, dan memastikan prosedur lebih jelas dan mudah dipahami. Selain itu, penggunaan komponen redundan untuk mengurangi tekanan waktu dan mendukung operator yang kurang berpengalaman juga disarankan. Strategi-strategi ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan manusia dalam aktivitas pemeliharaan dengan dampak risiko yang tinggi.[15]

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai efisiensi pompa (η_p) senilai 58.02% dan *efficiency overall* Kinerja Pompa didalam sistem perpipaan P-202 menuju Contactor (C-1) senilai 25.8%. sangat kecil dibandingkan dengan kinerja awal penggunaan pompa. Penurunan efisiensi pompa dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya yaitu penggunaan berkelanjutan dalam jangka waktu lama, kerusakan komponen, kebocoran pada pompa dan sistem perpipaan, penyumbatan oleh kerak dan sedimen, dan *overload* kerja pompa. Hasil dari keseluruhan analisis tersebut didapatkan beberapa solusi yang dapat dilakukan untuk mengoptimasi kerja pompa, antara lain adalah penggunaan pompa cadangan, perawatan teratur dan berkala, pemeriksaan kebocoran, pembersihan sistem, menghindari *overload* kerja.

Saran kepada peneliti berikutnya, perhitungan *mechanical energy balance* akan lebih akurat jika memiliki data lengkap plumbing pada P&ID. Hal ini akan membantu untuk menentukan panjang dan dimensi perpipaan, belokan pada sebuah sistem perpipaan, dan *valve* apa saja yang terinstalasi pada sistem.

Referensi

- [1] J. Kay dan R. Burkhalter, "STRATCO® Contactor™ Reactor Economic Analysis", National Lubricating Grease Institute Annual Meeting, San Diego, California, 2002.
- [2] D. B. Parker dan T. Warren, "Positive Displacement Pumps-Performance and Application", *Proceedings of the Eleventh International Pump Users Symposium Journal*, hal. 137-140, 2017.
- [3] A. J. Vialin, A. Kurniawan, B. F. Nugroho, D. Ardiansyah, R. Hidayat, R. C. Purnma, dan F. Paundra, "Proses maintenance dan evaluasi kinerja pompa 56-p-101 d di unit utilities PT. XYZ," *Perwira Journal of Science & Engineering*, vol. 4, no. 1, hal. 35–38, 2024.

- [4] H. D. Saputra, "Evaluasi Kinerja Pompa Sentrifugal Multistage 13-P-101 pada Unit Atmospheric Residue Hydrodemetalizing PT. Pertamina Refinery Unit VI Balongan." Laporan Tugas Akhir, Akademi Migas Balongan Indramayu, 2015.
- [5] J. F. Olesen dan H. R. Shaker, "Predictive maintenance for pump systems and thermal power plants: State-of-the-art review, trends and challenges," *Sensors*, 2020.
- [6] M. H. Ahsan dan S. Hadianoro, "Evaluasi Kinerja Fuel Oil Pump Untuk Sistem Combustion Turbine Generator," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 5, no. 1, hal. 7–12, 2019.
- [7] C. J. Geankoplis, "*Transport Processes and Unit Operations*". New Jearsey : Pearson Education, 2003
- [8] AIChE, "*Positive Displacement Pumps: A Guide to Performance Evaluation (AIChE Equipment Testing Procedure)*." New Jearsey : A John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [9] R. Marsela dan T. Srian, "Optimasi Unjuk Kerja Pompa Distribusi Bio Solar P10 PT. X," *Jurnal Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, Vol. 2, Hal. 535-543, 2022.
- [10] Ingersoll Rand Ltd., "Globalgear Proudly Manufactured by Tuthill ® Globalgear Series Catalog." Tersedia pada: <https://www.ingersollrand.com/en-id/pumps/products/industrial-process-gear-pumps/globalgear>, Diakses: 28 Juni 2024.
- [11] N. N. Subagia dan D. Mulyono, "Optimalisasi Unjuk Kerja Pompa Sentrifugal Single Stage Esh 100-250 + Vatec Pada Re-Injection System Di PLTP PT. Geo Dipa Energi Unit 1 Patuha," *Jurnal Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, Vol. 2, Hal 401-409, 2022.
- [12] M. E. Ridwan, "Pengaruh Perawatan Pompa Air Pendingin Laut Terhadap Kerja Mesin Induk di Km. Sinabung," *Jurnal Cakrawala Bahari*, Vol. 3 No. 1, Hal 29-33, 2020.
- [13] S. Andalucia, M. R. Zakaria, dan R. Sahputra, "The Optimization of Pump Type Hydraulic Pumping Unit by Redesigning Well SB-02 At PT SMD Tampi Field," *Jurnal Cakrawala ilmiah*, Vol. 2, No. 6, 2023
- [14] A. W. Barokah dan F. Ashari, "Pemeliharaan dan Perawatan pada Pompa IPAM NGANGEL 1," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Sistem Industri (JTMSI) Universitas Bojonegoro*, Vol. 1, No.1, 2022.
- [15] A. Noroozi, F. Khan, S. Mackinnon, P. Amyotte, dan T. Deacon, "Determination of human error probabilities in maintenance procedures of a pump," *Process Safety and Environmental Protection IChemE Jurnal*, vol. 92, no. 2, hal. 131–141, 2014.