JME (Jurnal Mekanika dan Energi)
EISSN: 3048-2836 *E-Mail*: jme@sttrcepu.ac.id

Pengaruh Besaran Stroke Terhadap Efisiensi Kinerja Phosphate Injection Pump

Yusup Nur Rohmat[a], Aditya Putra Atmana[b*], Drajat Indah Mawarni[b]

[a]Politeknik Negeri Indramayu
[b]Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
Jl. Kampus Ronggolawe No.1 Mentul, Indah, Komp. Pertamina, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315

*Email: ap405030@gmail.com

Tentang naskah:
- diterima, 21 Okt 2026
- direview, 27 Okt 2026
- diterbitkan, 30 Okt 2026

Kata kunci:
Efisiensi, Phosphate Injection Pump, Ratio Stroke, Diaphragm, Kinerja Pompa, Operasional.

Intisari
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaturan stroke yang sesuai dengan keefisiensian kinerja pompa dengan membandingkan kebutuhan operational sistem boiler. Pengaturan ratio stroke sangat berpengaruh baik terhadap keefisiensian kinerja pompa maupun ketahanan dari elemen diaphragm itu sendiri. Pengaturan ratio stroke yang berlebih ini akan mengakibatkan kerusakan dini pada elemen diaphragm sehingga pengaturan stroke yang sesuai sangatlah diperlukan untuk menghindari dari kerugian. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup pengambilan data operasi, analisis paramater efisiensi pompa seperti (discharge pressure, suction pressure, debit, dll). Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa keefisiensian kinerja pompa harus mengacu pada kebutuhan operasional juga agar menjaga komponen-komponen pompa dari kerusakan dan tentunya agar kinerja pompa juga optimal sesuai dengan kebutuhan operasional sistem boiler. Implementasi dari penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pengoperasian phosphate injection pump dan menjadi acuan dalam melakukan preventive maintenance pada pompa tersebut.

Keyword:
Efficiency, Phosphate Injection Pump, Stroke Ratio, Diaphragm, Pump Performance, Operational.

Abstract
This study aims to determine the appropriate stroke adjustment for optimizing pump performance efficiency by comparing it with the operational requirements of the boiler system. The stroke ratio adjustment significantly affects both the efficiency of pump performance and the durability of the diaphragm element itself. Excessive stroke ratio settings may cause premature damage to the diaphragm element; therefore, proper stroke adjustment is essential to prevent losses. The method applied in this research includes operational data collection and analysis of pump efficiency parameters such as discharge pressure, suction pressure, and flow rate. The findings indicate that pump performance efficiency should be aligned with operational needs to protect pump components from damage and ensure optimal performance according to the boiler system's operational requirements. The implementation of this study can serve as a reference for the operation of the phosphate injection pump and as a guideline for conducting preventive maintenance on the pump.

1. Pendahuluan

Pompa merupakan alat mekanis yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan *fluida (liquid)* dengan cara mengurangi volumenya sehingga *fluida* tersebut dapat mengalir dari satu tempat ke tempat lainnya dan dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi. Dalam sektor minyak dan gas, pompa memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai tahap pemrosesan dan distribusi cairan yang menunjang suatu proses. Pompa ini dibuat untuk memampatkan cairan, sehingga lebih mudah dalam proses pengangkutan, pengolahan, dan penyimpanan. Dengan mengompres cairan, pompa berperan penting dalam memastikan cairan mencapai tekanan yang dibutuhkan agar dapat mengalir melalui pipa jarak jauh serta digunakan dalam berbagai proses industri.

Pompa berfungsi untuk memadatkan cairan agar dapat dipindahkan melalui pipa dari lokasi pengambilan ke tempat pengolahan atau kepada konsumen akhir. Pompa dipasang pada jarak tertentu sepanjang sistem pipa untuk menjaga tekanan cairan yang diperlukan. Pompa berfungsi untuk meningkatkan tekanan dari cairan sehingga cairan tersebut dapat mengalir pada sistem perpipaan dan untuk menunjang dari kebutuhan proses industri.

Diaphragm pump merupakan salah satu jenis *positive displacement pump* yang prinsip

kerjanya ialah memampatkan volume cairan sehingga cairan tersebut dapat mengalir dari satu tempat ke tempat lainnya. Penerapan diaphragm pump pada sektor minyak dan gas umumnya digunakan untuk pemindahan cairan kimia pada proses tertentu, transfer limbah cairan ke tempat pengolahan limbah, dan lain-lain.

Sistem boiler pada lapangan *Gas Processing Facility* Jambaran Tiung Biru digunakan untuk memproduksi uap *(steam)* yang digunakan untuk berbagai kebutuhan process seperti pemisahan *sweet gas* dari H2S, dll. Sistem *boiler* ini termasuk salah satu sistem proses yang *critical* dalam menunjang keberlangsungan produksi di Jambaran Tiung Biru. Sistem boiler ditempatkan pada area *utility*. Pada sistem ini pun memerlukan beberapa *equipmen*t untuk menunjangnya seperti *blower*, alat-alat instrumentasi, pompa *diaphragm*, dll

Pompa *diaphragm* yang akan dilakukan penelitian merupakan jenis pompa *diaphragm single action* yang menggunakan motor listrik sebagai penggeraknya (*driver).* Pompa ini digunakan untuk menginjeksi bahan kimia yaitu cairan *phosphate* untuk dipindahkan dari tanki penyimpanan menuju ke sistem air di *boiler* untuk mencegah terjadinya *scaling/*kebuntuan pada airnya.

Pada pompa *phosphate* ini bekerja secara 2 x 100% atau berarti 1 *standby* dan 1 *running* untuk mengakomodasi jika pada pompa tersebut dilakukannya PM *(preventive maintenance)* ataupun CM *(corrective maintenance).*

Pompa *diaphragm* juga terdapat pada banyak sistem operasional proses lainnya, karena kemampuannya untuk menginjeksikan cairan kimia kedalam proses yang akurat menjadi keunggulan pada pompa ini. Namun, hampir 50% dari jumlah pompa *diaphragm* mengalami kerusakan yang sama pada komponennya yaitu pada *diaphragm* yang jebol. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor namun faktor yang paling besar adalah pengaturan *stroke* atau volume *diaphragm* yang tidak diperhitungkan dan dibandingkan dengan kebutuhan operasional sistem proses (berlebihan)(Saputra (2019).

Pengaturan besaran *stroke* atau *volume diaphragm* sangat penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja dari pompa *diaphragm* dan juga ketahanan dari pompa *diaphragm* itu sendiri. Pengaturan besaran *volume diaphragm* yang tidak diperhitungkan dapat mempercepat kerusakan pada komponen-komponen dari *diaphragm.*

Kerusakan pada komponen-komponen diaphragm pump tentunya akan mempengaruhi keberlangsungan dari proses produksi yang mana nantinya akan menyebabkan kerugian dari perusahaan. Tentunya penting juga dilakukan pemeliharaan rutin untuk diaphragm pump serta perhitungan besaran *volume diaphrag*m terhadap kinerja *diaphragm pump*.

2. Kerangka Teori

Pompa adalah suatu peralatan mekanis yang digunakan untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain, melalui suatu media pipa dengan cara menambahkan energi pada fluida cair tersebut secara terus menerus. Energi tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran. Hambatan hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek *(Sularso & Tahara 1996)*

Pompa kerja positif *(Positive Displacement Pump)* adalah pompa yang aliran fluidanya akan bertambah secara periodik oleh gaya dari pergerakan lapis batas dalam sistem tertutup atau dengan memperkecil volume dari lapis batas tersebut. Pompa yang termasuk pompa kerja positif adalah pompa reciprocating (pompa piston, pompa *plunger*) dan pompa rotari seperti pompa *vane,* pompa *gear,* pompa *screw,* pompa *lobe* dan pompa diafragma (Muslim Mahardika et al, 2021).

Pompa perpindahan positip *(positive displacement pump)* sering disebut juga dengan pompa tekanan statik adalah pompa yang mengalirkan zat cair dengan kapasitas atau debit tetap terhadap perubahan/variasi tekanan atau head, dan fluida berpindah karena menerima dorongan/desakan. Pompa perpindahan positip umumnya terdiri dari rumah pompa yang diam dan mempunyai elemen yang bergerak seperti roda gigi, baling-baling, piston, *plunger*, membran, ulir/sekrup dan lain-lain (Ali Mahmudi,2010)

Diaphragm Pump atau pompa diafragma merupakan pompa yang bekerja secara bolak-balik untuk menghisap dan mendorong air dari ruang pompa. Pada saluran masuk pompa terdapat katup atau membran yang menjaga agar air mengalir sesuai pada salurannya. Untuk menghisap atau mendorong air, diafragma pada pompa perlu digerakkan (Saputra, 2019).

Pompa diafragma merupakan salah satu jenis pompa reciprocating yang

memanfaatkan diafragma sebagai elemen pompanya. Diafragma ini berupa lembaran plat tipis yang bersifat fleksibel, yang dimanfaatkan untuk menghisap dan menekan fluida (Bimo Handoko,2015).

Diaphragm water pump atau yang biasa dikenal dengan pompa diafragma merupakan jenis pompa yang memakai kombinasi perlakukan *reciprocating* dari karet untuk memompa fluida. Pompa diafragma dapat mengirim suatu energi melewati batang penggerak yang dapat bergerak secara bolak-balik sehingga menimbulkan suatu isapan dan penekanan, hal ini terjadi antara katup isap dan katup tekan, sedangkan untuk daya kerja pompa itu sendiri tergantung dengan diameter dan lebar langkah dari pompa tersebut (Rohman, 2021).

Hydraulic Diapraghm Pump merupakan jenis pompa perpindahan positif yang mentransmisikan daya menggunakan oli operasi (oli silikon, dll.). Fluida tersebut diisi di antara diafragma dan piston yang berfungsi sebagai sumber penggerak. Mekanisme pelepas (pengaman) internal menghilangkan kebutuhan akan katup pelepas dan perangkat lain untuk menangani tekanan abnormal, sehingga pompa diafragma hidraulik efektif untuk digunakan dengan cairan yang tidak boleh terpapar udara luar. Pompa diafragma hidraulik juga membatasi perubahan volume pelepasan karena fluktuasi tekanan di lokasi injeksi, dan biasanya digunakan dalam saluran bertekanan tinggi seperti dalam proses petrokimia. Dibandingkan dengan pompa diafragma yang digerakkan langsung, pompa ini menawarkan akurasi yang lebih tinggi dan memungkinkan injeksi tekanan tinggi (Bertucco & Vetter, 2001).

Diafragma adalah cakram karet yang disekrup di bagian atas piston dengan baut dan cakram pengikat, yang menjaganya tetap sejajar selama gerakannya. Diafragma adalah elemen utama pompa karena memiliki dua fungsi penting, yaitu secara bergantian memperluas dan mengecilkan volume ruang pemompaan, dengan cara ini memungkinkan tindakan pemompaan.dan memisahkan ruang pompa dari sistem transmisi, mencegah cairan bersentuhan dengan bagian mekanis dan oli yang dapat menyebabkan risiko kerusakan serius pada pompa (Nelik, 1999).

Ruang pemompaan adalah tempat gerakan diafragma menghasilkan kontraksi dan ekspansi volume alternatif. Dalam praktiknya, ini adalah ruang antara cekungan kepala dan permukaan atas diafragma. Bentuk bagian dalam kepala mempunyai pengaruh mendasar terhadap kinerja pompa. Oleh karena itu, desain internalnya memiliki bentuk cekung "kubah", yang memungkinkan pompa mencapai tingkat tekanan, vakum, priming tertinggi, serta meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. Karena bagian ini mengalami tekanan berat dan proses keausan, kepala biasanya dirancang dari bahan tugas berat seperti kuningan, *aluminium anodisasi*, *aluminium* berlapis plastik, atau *polimer* (Nelik, 1999).

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan di area Boiler Feed Water System lapangan gas Jambaran Tiung Biru, Bojonegoro. Sesuai dengan tujuan penelitian kali ini, yakni untuk mengetahui pengaruh besaran ratio stroke pompa terhadap kinerja pompa. Variasi varabel penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengaturan dan perubahan pada nilai besaran stroke pompa dengan knob pengaturan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Tabel 1. Data ratio *volume diaphragm* dan debit air

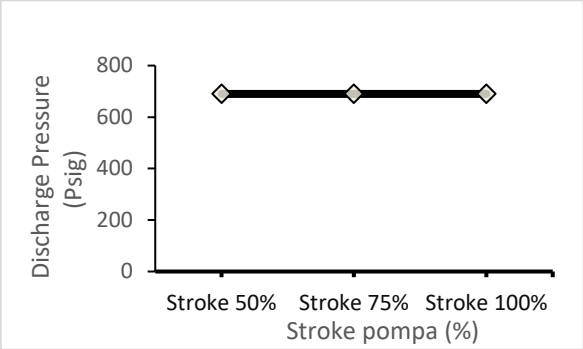
No	Ratio Besaran Stroke	Debit Air (Lph)	Discharge Pressure (psig)	Suction Pressure (psig)
1	50%	1,5	690	20
2	75%	2,25	690	20
3	100%	3,0	690	20

Fluida yang dialirkan berasal dari tanki penyimpanan yang mempunyai ketinggian sekitar 1 meter terhadap *phosphate injection pump*. Sehingga aliran fluida yang terjadi berdasarkan *gravity* sehingga *suction pressure* pompa bersifat tetap yaitu berada pada tekanan 20 psig. Tekanan *suction* pompa yang tetap dikarenakan *suction head pompa* bersifat tetap.

Berdasarkan pada standar API 675 bahwa tekanan *discharge* pada pompa *diaphragm* lebih dipengaruhi oleh resistansi sistem proses dimana pada kasus ini adalah sistem perpipaan pada sistem *boiler* yaitu berada pada tekanan 690 Psig. Namun, jika stroke diperbesar debit akan naik. Jika sistem *downstream* tidak mampu menerima debit lebih besar (misal katup tertutup) maka tekanan akan naik. Artinya, pompa akan terus mendorong cairan sesuai dengan *stroke* dan rpm, dan tekanan *discharge* akan

naik sampai batas maksimum mekanis pompa. Ilustrasi sederhananya adalah :

Lalu penulis membuat sebuah grafik untuk mengetahui secara *trending* dari perbandingan *dischare pressure* vs *stroke* pompa *diaphragm* sebagai berikut:



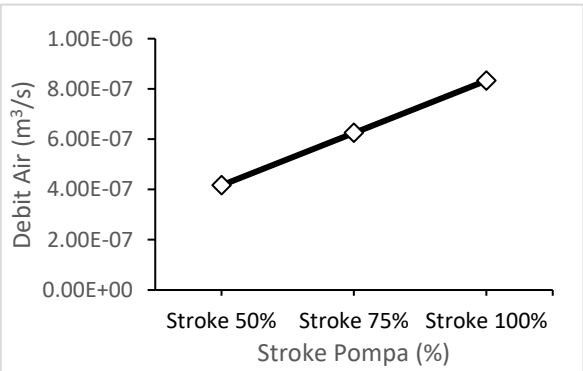
Gambar 1. Grafik discharge pressure pada phosphate injection pump

Pembacaan debit air pada *calibration coloumn* menggunakan satuan *Lph (liter per hours)* sehingga diperlukannya konversi terlebih dahulu menjadi m^3/s, dimana $1\ Lph = 2{,}777\ x\ 10^{-7}\ m^3/s$. Jadi diperoleh debit dari data hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel 2. Data konversi flowrate / debit Lph ke m^3/s

Debit (Lph)	Debit (m^3/s)
1,5	0,0000004166
2,25	0,0000006249
3,0	0,0000008333

Dalam tampilan grafik terkait dengan perbandingan debit vs *stroke* diperoleh sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik pengaruh besaran stroke terhadap debit air.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa debit yang dihasilkan oleh *phosphate injection pump* selaras meningkat dengan perubahan pengaturan *stroke*. Hal ini terjadi karena semakin besar *stroke* suatu pompa maka akan membuat semakin besar juga volume *diaphragm* sehingga cairan *phosphate* yang akan masuk keruang kompresi juga semakin banyak dan menghasilkan debit air yang semakin besar juga(Sonjaya et al. (2025).

Debit pada pompa dipengaruhi oleh seberapa besar ratio *stroke* pompa. Namun ini pengaturan stroke pompa tidak mempengaruhi tekanan *discharge* pompa. Hal ini disebabkan karena terdapatnya *back pressure* pada sistem perpipaan dari pompa yang dihasilkan dari *pressure* yang terdapat pada sistem boiler itu sendiri (Yang et al. (2018)

.

4.2 Perhitungan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengaturan ratio stroke yang berdampak terhadap debit air yang dihasilkan, serta merujuk pada persamaan (2.1), maka langkah pertama adalah melakukan perhitungan *pressure drop* sebagai berikut:

$$\Delta p = P\ discharge - P\ suction$$

Δp = 690 psig – 20 psig

Δp = 670 psig

Setelah nilai pressure drop diketahui, lalu dicarilah nilai *Hydraulic power* pada phosphate injection sebagai berikut :

$$P\ hydraulic = Q \times \Delta p$$

Perhitungan :

1) Mengubah tekanan ke pascal
   670 psi X 6894,76 Pa/psi =
   670 x 6894,76 = 4619489,2 Pa = 4.619 x 10^6 Pa
2) Menghitung daya *hydraulic* dari masing *flowrate*/debit yang dihasilkan dari masing-masing pengaturan *stroke* atau volume *diaphragm* sebagai berikut:

- Q1 = 0,0000004166
  P hyd 1 = 0,0000004166 x 4.619.489,2 = 1,9248 W
  = 0,0019248 kW
- Q2 = 0,0000006249
  P hyd 2 = 0,0000006249 x 4.619.489,2 = 2,8872 W
  = 0,0028872 kW
- Q3 = 0,0000008333
  P hyd 3 = 0,0000008333 x 4.619.489,2 = 3,8496 W
  = 0,0038496 kW

Merujuk pada persamaan (2.2) setelah mendapatkan nilai dari *pressure drop* dan *hydraulic power* lalu langkah perhitungan yang terakhir adalah melakukan perhitungan efisiensi kinerja berdasarkan nilai variabel yang diteliti yaitu nilai besaran *stroke phosphate injection pump* sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_f}{P_t} \times 100\%$$

Perhitungan :

- Q1 = 0,0000004166

$$\eta = \frac{P_f}{P_t} \times 100\%$$
$$\eta = \frac{0{,}0019428}{0{,}25} \times 100\%$$
$$\eta = 0{,}77\ \%$$

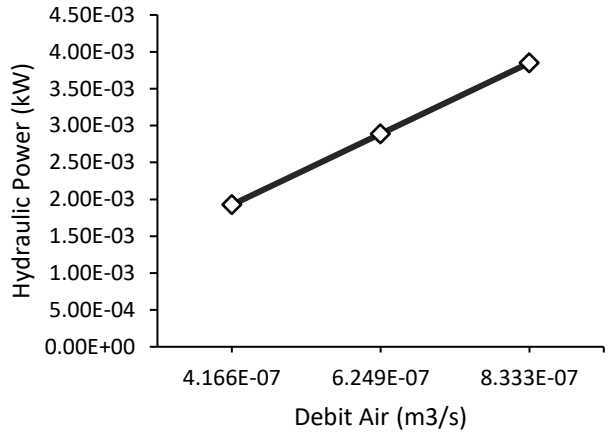
- Q2 = 0,0000006249

$$\eta = \frac{P_f}{P_t} \times 100\%$$
$$\eta = \frac{0{,}0028872}{0{,}25} \times 100\%$$
$$\eta = 1{,}155\%$$

- Q3 = 0,0000008333

$$\eta = \frac{P_f}{P_t} \times 100\%$$
$$\eta = \frac{0{,}0038496}{0{,}25} \times 100\%$$
$$\eta = 1{,}54\%$$

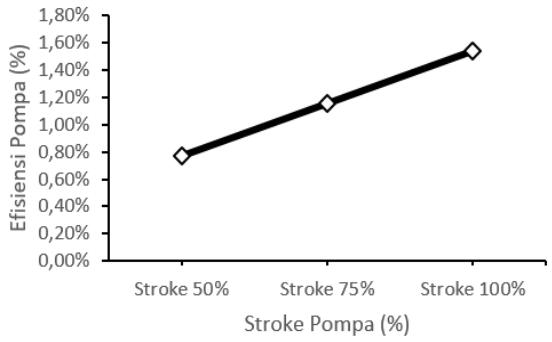
4.3 Pembahasan



Gambar 3. Grafik perbandingan daya hidrolik antara debit air.

Berdasarkan pada gambar 3 terlihat grafik perbandingan daya hidrolik dengan variabel besaran *strok*e yang telah dilakukan penelitian. Hasil dari penelitian memperlihatkan bahwa nilai daya hidrolik pada *phosphate injection pump* selaras dengan perubahan besaran *stroke* dimana pada besaran stroke 50% didapat daya hidrolik sebesar 0,0019248 kW. Lalu penulis memvariasikan besaran stroke pada 75% dan hasil dari daya hidroliknya meningkat menjadi sebesar 0,0028872 kW. Pada percobaan terakhir penulis memvariasikan besaran *stroke* menjadi 100% dan hasil dari daya hidrolik meningkat dari sebelumnya menjadi 0,0038496 kW. Hal menunjukkan bahwa semakin besar debit air yang dihasilkan pada *phosphate injection pump* maka semakin besar pula pompa tersebut memerlukan daya hidrolik untuk memompa *phosphate injection pump*.

Dari hasil daya hidrolik pada *phosphate injection pump* tersebut adalah sebagai faktor utama untuk melakukan perhitungan efisiensi yang telah dilakukan penulis dan didapatkanlah grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik efisiensi phosphate injection pump

Grafik tersebut memperlihatkan bahwa efisiensi pompa berbanding lurus dengan seberapa besar pengaturan besaran *stroke* yang berfungsi sebagai ruang kompresi pada pompa. Pengaturan besaran *stroke* ini mempengaruhi debit air dari pompa karena semakin besar ratio *stroke* pompa akan mengakomodasi volume yang besar juga pada ruang kompresi pada pompa sehingga debit air yang dihasilkanpun akan semakin besar juga. Karena efisiensi pompa dihitung dari seberapa banyak debit air yang dihasilkan pada pompa tersebut dengan daya motor yang dikeluarkan sama. Maka, efisiensi yang paling besarpun diraih pada pengaturan besaran *stroke* diangka maksimal atau 100%

Dari perhitungan yang telah dilakukan hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi terbesar dihasilkan pada pengaturan besaran *stroke* di 100%. Namun, hasil ini pun harus dibandingkan dengan keperluan flowrate yang ada dilapangan atau operasional nya karena jika pompa tersebut dioperasikan pada besaran *stroke* yang 100% ini akan menghasilkan debit air yang maksimal juga. Akibatnya jika penginjeksian cairan kimia phosphate solution yang berlebih ini juga akan mengakibatkan reaksi kimia diluar dari spesifikasi yang telah ditentukan pada *feed water*. Oleh karena itu, berikut adalah perbandingan debit air yang dihasilkan oleh pompa dengan kebutuhan operational pada saat dilapangan.

Tabel 3. Kondisi operasional pada phosphate injection pump

PHOSPHATE INJECTION PUMP (Note 6, 9, 12, 15)								
General				Operating Conditions				
Number required	:	2 x 100%,	2 x 100%,	Capacity (Min/Rtd/Max)	(l /hr)	:	1.00 / 2.00	3.00
Tag No.	:			Disch. Press. (Nor/Des)	(psig)	:	690 / 745	
Mfr / Model No.	:	Milton Roy		Suct . Press. (Max. / Min.)	(psig)	:	Atm /	
Driver Type	:	Electric Motor		Diff . Press. (Max. / Min.)	(psig)	:	684.57 /	
Stroke Control	:	Local (Manual)		NPIP(A)	(psig)	:	9.3	
				Turndown Ratio		:	1 : 10	

Pada gambar tersebut tertera bahwa nominal *capacity* atau debit air yang dihasilkan untuk *rated* (nominal normal) yaitu di angka 2,0 Lph. *Rated* atau nominal normal merupakan nilai standar yang dirancang atau kondisi kerja normal yang dianjurkan. Debit air sebesar 2,0 Lph ini diperoleh dengan pengaturan besaran ratio *stroke* sebesar 70-75%. Jadi ini dapat disimpulkan bahwasanya efisiensi pompa yang berdasarkan pada kebutuhan kondisi operational berada pada pengaturan besaran ratio *stroke* sebesar 70-75% dengan debit air sebesar 2,0 Lph.

Pengaturan besaran *stroke* yang berlebih atau maksimum 100% akan mengakibatkan volume *diaphragm* semakin besar dan sehingga kinerja kompresinya juga semakin besar sehingga ini akan mengakibatkan juga pengurangan dari *lifetime* pada element diaphragmnya karena *diaphragm* nya dipaksa untuk bekerja pada kemampuan yang maksimal terus-menerus. Sehingga elemen *diaphragm* ini pun akan mudah rusak jika pengoperasian berada pada besaran ratio *stroke* yang maksimum atau 100% (Ambu (2023).

Penelitian ini memberikan wawasan pada penullis bahwa keefisiensian sebuah pompa juga harus membandingkan dengan kebutuhan operasional pada suatu proses guna menunjang keberhasilan sebuah tujuan dari proses itu sendiri dan demi menjaga umur suatu peralatan atau pompa. Tentunya hal ini juga akan menghemat pengeluaran yang diakibatkan dari pekerjaan perbaikan komponen pompa dan kehandalan dari pompa tersebut.

5. Simpulan

Berdasarkan data dan hasil perhitungan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengaturan besaran stroke pompa berpengaruh terhadap efisiensi kinerja phosphate injection pump, dengan hasil menunjukkan bahwa pada pengaturan stroke 50% efisiensi yang diperoleh sebesar 0,77%, pada 75% sebesar 1,155%, dan pada 100% sebesar 1,54%. Semakin besar stroke pompa, maka semakin besar pula debit air yang dihasilkan oleh phosphate injection pump. Namun, besaran stroke atau volume diaphragm tidak memengaruhi discharge pressure karena adanya resistansi tekanan dari sistem perpipaan pada proses boiler. Berdasarkan hasil efisiensi dan kebutuhan operasional (2,0 Lph), pengaturan stroke yang ideal berada pada rasio 70–75% untuk menjaga komponen pompa, khususnya diaphragm, agar tidak mengalami kerusakan. Oleh karena itu, disarankan agar ke depannya dibuat standarisasi pengoperasian phosphate injection pump dengan pengaturan stroke pada kisaran 70–75% untuk menjaga kestabilan dan keandalan sistem.

Daftar Pustaka

Bertucco, A. (2001) *High Pressure Process Technology: Fundamentals and Applications*. Padova: Department of Chemical Engineering.

Handoko, B. (2015) *Klasifikasi Pompa dan Kompressor*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

Mahardia, M., Sudiarso, A. and Prihandana, G. S. (2019) *Perancangan dan Manufaktur Pompa Sentrifugal*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Mahmudi, A. (2014) *Pompa dan Kompressor*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Nelik, L. (1999) *Centrifugal and Rotary Pumps: Fundamentals with Applications*. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press LLC.

Rohman, A. A. (2021) 'Pemrograman Mesin Smart Bartender Menggunakan Software Arduino IDE Berbasis Microcontroller ATmega2560', *Jurnal Teknik Elektro*, 6(1), pp. 14–21.

Saputra, B. A. (2019) 'Rancang Bangun Sistem Pemisah Air–Minyak Berbasis Metode Adsorpsi Menggunakan Mikrokontroler Teensy', *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), pp. 300–305.

Sularso and Tahara (1996) *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sonjaya, M. L., Setyawan, H., Ritonga, J., Sarifudin, A., & Nury, D. F. (2025). Optimization of plunger geometry and stroke settings on hydraulic performance of diaphragm metering pumps. *Jurnal Polimesin*, 23(1).

Yang, Y., Zhang, H., Xu, Y., Zhao, R., Hou, X., & Liu, Y. (2018). Experimental study and performance analysis of a hydraulic diaphragm metering pump used in organic Rankine cycle system. *Applied Thermal Engineering*, 132, 698–706.

Ambu, D. N. (2023). *Air operated double diaphragm pump performance using computational fluid dynamic* (Technical Report). Universiti Sains Malaysia.

Saputra, B. A. (2019). Rancang Bangun Sistem Pemisah Air – Minyak Berbasis Metode Adsorpsi Menggunakan Mikrokontroler Teensy. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 300–305.