



Pengaruh Variasi Buka-an Katup terhadap Kinerja Sistem pada Konfigurasi Pompa Seri dan Paralel

The Effect of Valve Opening Variation on System Performance in Series and Parallel Pump Configurations

David Jomantes Munthe¹, Jimmy Lingga¹, Jufrizal^{1*}, Muhammad Idris¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan 20223, Indonesia

*Corresponding author: jufrizal@staff.uma.ac.id

Diterima: 17-03-2025

Disetujui: 16-04-2025

Dipublikasikan: 30-04-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Pompa sentrifugal banyak digunakan di industri dan teknik sipil untuk memindahkan fluida secara efisien dengan meningkatkan tekanan. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi buka-an katup pada konfigurasi pompa seri dan paralel secara simultan menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan dua pengulangan. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi pompa paralel umumnya lebih efisien dibanding seri, terutama pada buka-an katup 50% dan 25%. Efisiensi maksimum dicapai pada buka-an katup 75% dengan nilai sekitar 33% untuk kedua konfigurasi. Pengaturan buka-an katup dan pemilihan konfigurasi pompa sangat penting untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem perpipaan bertekanan. Disarankan bagi industri kecil menggunakan konfigurasi pompa paralel dengan pengoperasian buka-an katup optimal sekitar 75% untuk efisiensi energi dan penghematan biaya. Pengembangan sistem kontrol otomatis buka-an katup juga dianjurkan untuk memaksimalkan efisiensi, memperpanjang umur peralatan, dan mengoptimalkan distribusi fluida.

Kata Kunci: Pompa seri, pompa paralel, buka-an katup, kinerja pompa, efisiensi.

Abstract

Centrifugal pumps are widely used in industry and civil engineering to move fluids by increasing pressure efficiently. This study analyzes the effect of valve opening variations on series and parallel pump configurations simultaneously using a laboratory experiment method with two repetitions. The results show that parallel pump configurations are generally more efficient than series, especially at 50% and 25% valve openings. The maximum efficiency is achieved at 75% valve opening with a value of around 33% for both configurations. Valve opening settings and pump configuration selection are very important to improve the performance and efficiency of pressure piping systems. It is recommended for small industries to use parallel pump configurations with optimal valve opening operations of around 75% for energy efficiency and cost savings. Developing an automatic valve opening control system is also recommended to maximize efficiency, extend equipment life, and optimize fluid distribution.

Keywords: Series pumps, parallel pumps, valve openings, pump performance, efficiency.

1. Pendahuluan

Pompa berperan vital dalam berbagai sektor industri dan teknik sipil, terutama untuk memindahkan fluida dengan menambah energi tekanan sehingga aliran dapat berlangsung dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pompa sentrifugal menjadi pilihan utama di industri karena

kehandalan, efisiensi, kemudahan perawatan, serta kemampuannya menangani berbagai jenis fluida dan kondisi operasi yang beragam (Harahap, S., & Fakhruddin 2018). Di bidang teknik sipil, seperti pada sistem pengolahan air bersih dan irigasi, pompa juga memegang peranan penting dalam memastikan distribusi air yang efisien dan andal.

Selain pompa, katup merupakan komponen kunci dalam sistem perpipaan yang berfungsi mengatur karakteristik aliran, termasuk *head losses* (kerugian tekanan), debit, dan efisiensi sistem. Variasi bukaan katup dapat secara langsung memengaruhi kondisi aliran, kinerja pompa, serta distribusi fluida. Pengaturan katup yang tepat memungkinkan tercapainya keseimbangan antara kapasitas aliran dan efisiensi energi, sekaligus meminimalkan kerugian mayor dan minor akibat gesekan serta perubahan arah aliran pada sistem perpipaan (Muis, Muchsin, and Bachri 2019).

Dalam konfigurasi sistem pompa, terdapat dua skema utama yang umum diterapkan untuk memenuhi kebutuhan operasi yang berbeda: konfigurasi seri dan paralel. Pada konfigurasi seri, beberapa pompa dihubungkan secara berurutan untuk meningkatkan head total, sedangkan konfigurasi paralel digunakan untuk meningkatkan debit dengan mengoperasikan beberapa pompa secara bersamaan sehingga kapasitas aliran total bertambah (Muis, Muchsin, and Bachri 2019). Studi-studi sebelumnya telah membahas pengaruh variasi bukaan katup terhadap performa hidrolis pompa pada masing-masing konfigurasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konfigurasi seri, peningkatan bukaan katup cenderung meningkatkan head namun menurunkan debit, sementara pada konfigurasi paralel, bukaan katup yang lebih besar menghasilkan debit yang lebih tinggi namun head yang lebih rendah (Helmizar, Setiawan, E., & Nuramal 2019). Selain itu, desain dan konfigurasi perpipaan juga sangat memengaruhi kerugian energi dan performa distribusi fluida.

Namun, hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara simultan menguji efek variasi bukaan katup pada dua konfigurasi pompa (seri dan paralel) dalam satu sistem uji. Padahal, pemahaman mendalam mengenai interaksi antara variasi bukaan katup dan konfigurasi pompa sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi dan kinerja sistem pemompaan secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bukaan katup pada konfigurasi pompa seri dan paralel secara simultan terhadap karakteristik sistem, seperti head, debit, *head losses*, dan efisiensi pompa. Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan pemahaman baru mengenai interaksi kedua faktor tersebut, yang sebelumnya belum banyak dikaji secara komprehensif. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar teknis dalam pengambilan keputusan desain dan pengoperasian sistem pompa yang lebih efisien dan efektif, baik untuk aplikasi industri, teknik sipil, maupun pertanian (Helmizar, Setiawan, E., & Nuramal 2019).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Deli Serdang, Sumatera Utara, 20223. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi bukaan katup pada konfigurasi pompa seri dan paralel terhadap karakteristik sistem, meliputi head, debit, daya hidrolis dan efisiensi pompa.

2.1. Peralatan dan bahan

2.1.1. Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan penelitian dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

a) Pompa Sentrifugal

Pompa merupakan sebuah mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida dari satu lokasi ke lokasi lain dengan memanfaatkan prinsip perbedaan tekanan.

Spesifikasi:

- Daya (P): 370 W
- Arus (I): 1,3 A
- Putaran (n): 2900 rpm
- Head (H): 22 – 9 m
- Kapasitas aliran (Q): 10 – 24 liter/menit
- Diameter pipa hisap/dorong: (1 inci)



Gambar 1. Pompa sentrifugal *Shimizu PS-116 BIT*

b) Flow Meter

Flow meter digunakan untuk mengukur jumlah volume cairan atau fluida yang mengalir keluar melalui pipa discharge.

Spesifikasi:

- Jenis Rotameter (flow meter dengan float)
- Skala pengukuran: (1-5 GPM), (2-18 LPM)
- Merek: Samlixin



Gambar 2. Flow meter

c) Pressure Gage

Alat pengukur tekanan berfungsi untuk mendeteksi besaran tekanan fluida cair yang mengalir dalam sistem tertutup melalui saluran keluaran.

Spesifikasi:

Merek: JP Pump Parts

Skala pengukuran: (0-100 PSI), (0-7 Bar)

Jenis: Pressure Gauge



Gambar 3. Pressure gage

d) Wattmeter

Wattmeter adalah alat yang berfungsi untuk mengukur daya listrik yang dipakai oleh pompa selama proses pengujian. Alat ini sangat penting untuk menentukan jumlah energi listrik yang digunakan, sehingga memungkinkan analisis efisiensi sistem pompa secara lebih tepat. Data hasil pengukuran dari wattmeter menjadi acuan utama dalam perhitungan daya input serta penilaian kinerja pompa pada berbagai kondisi operasional.



Gambar 4. Watt meter

2.1.2. Bahan

Pada penelitian ini, bahan yang akan digunakan meliputi sebuah instalasi perpipaian yang berfungsi untuk mengalirkan fluida cair, di antaranya adalah:

a) Pipa

Pipa yang digunakan merupakan jenis PVC yang berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan fluida atau cairan. Gambar 5 memperlihatkan tipe pipa PVC yang dipakai dalam instalasi ini.



Gambar 5. Pipa PVC

b) Sambungan

Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan antar pipa sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan instalasi.



Gambar 6. Sambungan

c) Elbow

Elbow berfungsi untuk menghubungkan dua pipa sekaligus mengubah arah aliran fluida dalam suatu siklus. Gambar 7 menunjukkan elbow 90° berbahan PVC yang digunakan.



Gambar 7. Elbow

d) Globe Valve

Globe valve dengan model tuas digunakan untuk mengendalikan aliran fluida, baik memutuskan maupun menghubungkannya. Katup ini dipasang pada pipa *suction* dalam instalasi alat uji. Gambar 8 memperlihatkan tipe globe valve yang digunakan.



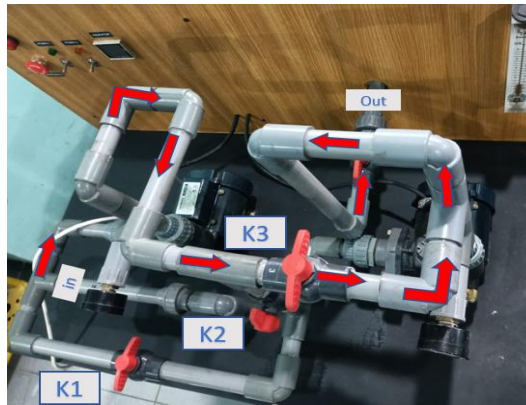
Gambar 8. *Globe valve*

2.2. Rancangan eksperimen

Pengujian terdiri dari susunan pompa secara paralel, dan seri. Instalasi dari tiap angkaian adalah sama, namun yang membedakan adalah katup yang terbuka dan yang tertutup dari tiap-tiap rangkaian.

2.2.1. Pompa disusun secara tunggal

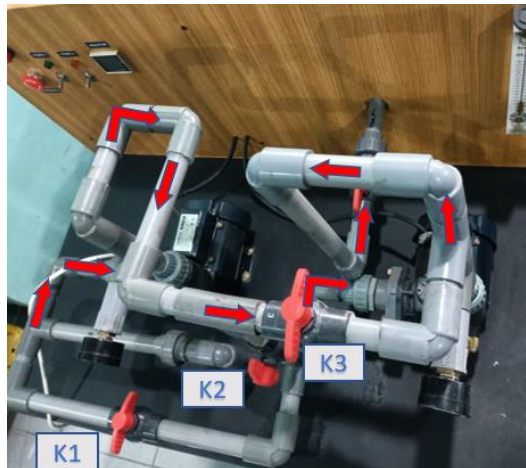
Gambar 9 menunjukkan konfigurasi rangkaian untuk pompa tunggal. Pada rangkaian tunggal dengan pompa P1, katup K3 dibuka, sementara katup K1 dan K2 ditutup. Sedangkan pada rangkaian tunggal yang menggunakan pompa P2, katup K3 dibuka, dan katup K1 serta K2 ditutup.



Gambar 9. Susunan pompa instalasi tunggal

2.2.2. Pompa disusun secara seri

Pada Gambar 10 ditampilkan susunan pompa dengan konfigurasi seri. Dalam konfigurasi ini, fluida yang telah didorong oleh pompa pertama (P1) akan dialirkan menuju pompa kedua (P2) untuk didorong kembali. Untuk mendapatkan aliran sistem seri ini, katup BV2 dibiarkan terbuka, sementara katup K1 dan K3 ditutup sepenuhnya.



Gambar 10. Susunan instalasi pompa seri

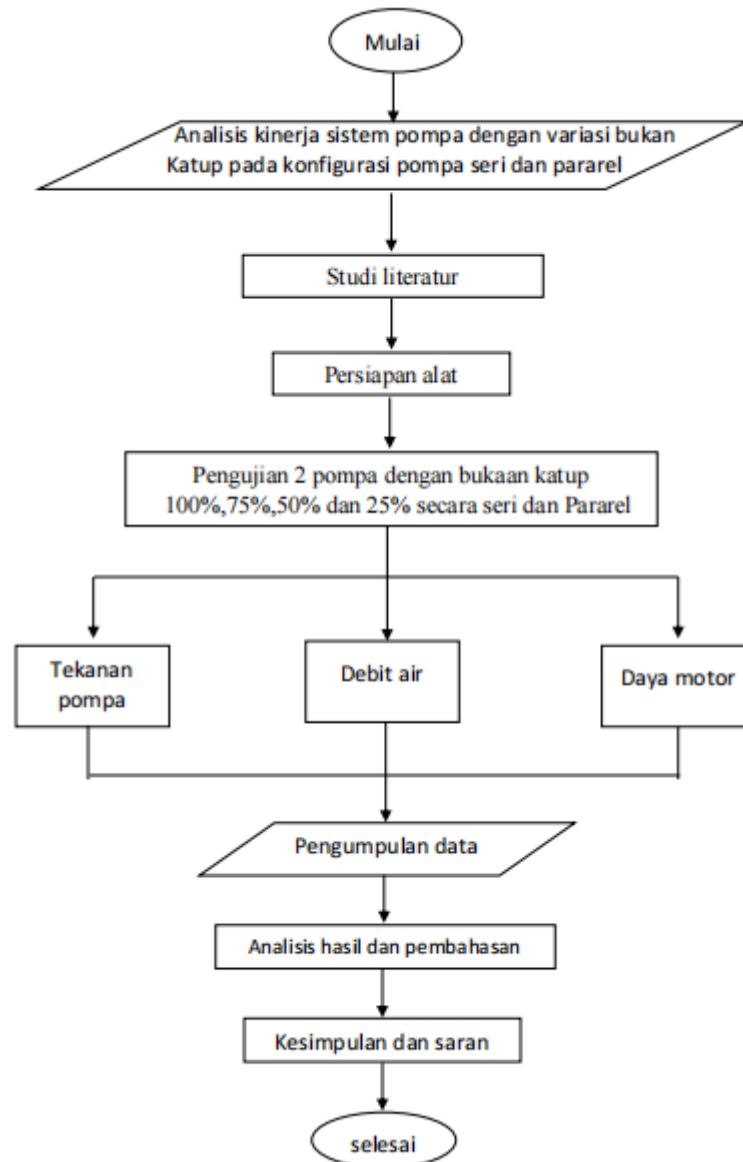
2.2.3. Pompa disusun secara paralel

Gambar 11 menunjukkan konfigurasi pompa yang disusun secara paralel. Dalam sistem ini, kedua pompa (P1 dan P2) beroperasi serentak untuk mengalirkan fluida. Untuk memastikan aliran sistem paralel berfungsi optimal, katup K2 diposisikan tertutup, sedangkan katup K1 dan K3 dibuka sepenuhnya.



Gambar 11. Susunan instalasi pompa paralel

2.3. Diagram alir penelitian



Gambar 12. Diagram alir penelitian

2.4. Prosedur penelitian

Pengumpulan data dapat dilakukan setelah melakukan pemeriksaan terhadap alat uji. Mengetahui bentuk serta fungsi masing-masing komponen alat uji sangat penting sebelum alat tersebut dioperasikan dan data diambil. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan dua pengulangan untuk setiap kombinasi variabel. Pengulangan dilakukan pada:

1. Dua konfigurasi pompa: seri dan paralel
2. Empat variasi bukaan katup: 25%, 50%, 75%, dan 100%
3. Tiga parameter utama: Debit aliran (Q), Tekanan pompa (P) dan Daya motor

Tabel 1. Pengulangan eksperimen

Konfigurasi	Bukaan katup	Jumlah pengulangan	Durasi pengukuran/Ulangan
Seri	100%	2x	10 menit (5 +5)
Paralel	100%	2x	10 menit (5 +5)

Adapun prosedur dan langkah-langkah dalam mengoperasikan alat uji serta pengambilan data dijelaskan sebagai berikut:

1. Isi tangki dengan air bersih hingga mencapai batas yang telah ditentukan.
2. Buka katup K3, kemudian tutup katup K1 dan K2 sesuai dengan ilustrasi pada Gambar 2.10.
3. Atur katup bypass agar terbuka penuh (*fully open*) dan katup gerbang (gate valve) agar tertutup penuh (*fully closed*).
4. Nyalakan pompa P1 dan tunggu sampai motor beroperasi dengan normal.
5. Amati dan catat semua parameter yang berkaitan dengan pompa dan sistem perpipaan.
6. Matikan pompa P1.
7. Ulangi langkah 2 sampai 6 dengan mengubah konfigurasi rangkaian menjadi rangkaian seri, yaitu dengan membuka katup K2 dan menutup katup K1 serta K3 sesuai Gambar 2.11 dengan bukaan katup 100%, 75%, 50%, dan 25%.
8. Ulangi langkah 2 sampai 7 dengan mengubah konfigurasi rangkaian menjadi rangkaian paralel, yaitu dengan menutup katup K2 dan membuka katup K1 serta K3 seperti pada Gambar 2.12 dengan bukaan katup 100%, 75%, 50%, dan 25%.
9. Setelah semua proses selesai, simpan Tabel data dalam bentuk dokumen.

2.5. Analisis pompa

Analisis performa pompa dilakukan untuk memahami karakteristik operasional pompa pada setiap impeller. Parameter utama yang menjadi penentu karakteristik kerja pompa meliputi head (H), kapasitas aliran (Q), dan efisiensi pompa (η).

1. Head (H)

Perhitungan head aktual pompa melibatkan pengukuran tekanan pada sisi hisap (*suction*) dan sisi keluaran (*discharge*). Besarnya tekanan tersebut diukur menggunakan pressure gauge. Cara pemasangan alat ukur tekanan pada pompa dapat dilihat pada Gambar 13 (Wira 2020).

Dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H = \frac{((P_{out} - P_{in}) \times 10^5)}{\rho \cdot g} \quad (1)$$

2. Daya Hidrolik (P_h)

Daya hidrolik merupakan energi mekanik yang dihasilkan oleh pompa untuk mengalirkan fluida dalam sistem perpipaan. Besaran ini sangat penting karena menunjukkan kemampuan pompa dalam mengubah energi fluida menjadi energi mekanik yang dapat dimanfaatkan. Perhitungan daya hidrolik didasarkan pada nilai head pompa dan debit aliran fluida yang melewati pompa. Secara matematis, daya hidrolik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \quad (2)$$

di mana P_h adalah daya hidrolik (watt), ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), Q adalah debit aliran fluida (m^3/s), dan H adalah head pompa (meter). Perhitungan ini sangat penting sebagai dasar untuk menganalisis efisiensi pompa serta menilai kinerja sistem secara keseluruhan (Wira 2020).

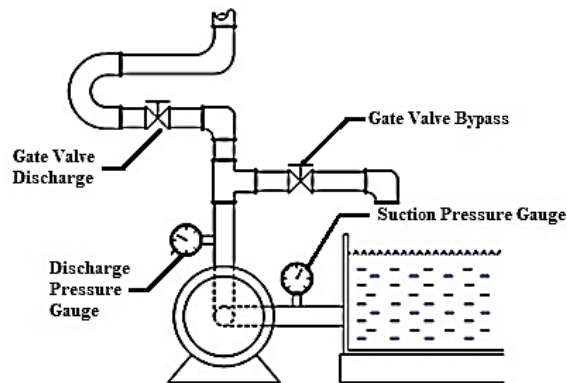
3. Efisiensi Pompa (η)

Efisiensi pompa merupakan indikator utama yang menunjukkan tingkat efektivitas pompa dalam mengonversi energi listrik menjadi energi hidrolik yang digunakan untuk memindahkan

fluida. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan membandingkan antara daya hidrolik yang dihasilkan oleh pompa dan daya listrik yang dikonsumsi oleh motor penggerak. Daya hidrolik sendiri diperoleh dari hasil perhitungan head pompa dan debit aliran fluida. Secara matematis, efisiensi pompa dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$\eta = \left(\frac{P_h}{P_e} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

di mana P_h adalah daya hidrolik dan P_e adalah daya listrik yang digunakan selama operasi pompa. Mengetahui nilai efisiensi ini sangat penting untuk menilai kinerja pompa serta mengidentifikasi potensi kehilangan energi dalam sistem, sehingga memungkinkan dilakukan upaya perbaikan untuk meningkatkan efisiensi operasional pompa (Wira 2020).



Gambar 13. Pengukuran tekanan suction dan discharge pada pompa

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil data eksperimen

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran pada beberapa parameter penting yang saling terkait baik pompa disusun secara seri dan disusun secara paralel, yaitu debit aliran fluida, tekanan dalam sistem, konsumsi daya listrik, serta suhu pada titik-titik tertentu. Pengukuran debit berfungsi untuk menentukan laju aliran fluida, sementara tekanan memberikan gambaran tentang kondisi operasional sistem. Daya listrik yang tercatat menunjukkan besarnya energi yang digunakan oleh peralatan, dan pengukuran suhu membantu memantau perubahan suhu selama proses berlangsung. Dengan menggabungkan data-data tersebut, analisis yang komprehensif mengenai kinerja dan efisiensi sistem dapat dilakukan. Berikut Tabel hasil pengukuran yang disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Data eksperimen konfigurasi pompa disusun seri

Bukaan Katup (%)	Debit (m^3/s)	P in (mH ₂ O)	P out (mH ₂ O)	Suhu air (°C)	Daya listrik (W)
100	0,00031673	0	7,64805	26	420,1
75	0,000308395	4,58883	9,17766	26	425,7
50	0,000167033	3,05922	5,0987	26	447,5
25	0,000008335	0,50987	3,05922	26	565,2

Tabel 3. Data eksperimen konfigurasi pompa disusun secara paralel

Bukaan Katup (%)	Debit (m^3/s)	P in (mH ₂ O)	P out (mH ₂ O)	Suhu air (°C)	Daya listrik (W)
100	0,000202541	23,454	15,2961	26	500,5
75	0,00031673	12,7468	9,68753	26	512,7
50	0,00031673	12,2369	9,68753	26	535,3
25	0,000061679	0,50987	0,407896	26	652,3

3.2. Hasil perhitungan

Setelah data eksperimen diperoleh, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan untuk menentukan parameter-parameter utama yang menggambarkan kinerja pompa. Pada bagian ini akan dipaparkan hasil perhitungan head pompa, daya hidrolik, serta efisiensi pompa berdasarkan data yang telah dikumpulkan baik secara seri maupun paralel. Perhitungan ini penting untuk menganalisis performa pompa secara kuantitatif dan menjadi dasar dalam evaluasi serta pembahasan hasil penelitian selanjutnya.

$$H_{100\%} = \frac{((P_{out} - P_{in}) \times 10^5)}{\rho \cdot g}$$

$$H_{100\%} = \frac{((0 \text{ mH}_2\text{O} - 7,64805 \text{ mH}_2\text{O}) \times 10^5)}{(1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$H_{100\%} = 78,19636279 \text{ m}$$

Maka Head pompa pada konfigurasi pompa disusun secara seri dengan bukaan katup 100% adalah 78,19636279 m.

$$P_{h100\%} = \rho \times g \times Q \times H$$

$$P_{h100\%} = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,81 \text{ m/s}^2) \times (0,00031673 \text{ m}^3/\text{s}) \times (78,19636279 \text{ m})$$

$$P_{h100\%} = 242,9655844 \text{ W}$$

Maka daya hidrolik pada konfigurasi pompa disusun secara seri dengan bukaan katup 100% adalah 242,9655844 W.

$$\eta_{100\%} = \left(\frac{P_h}{P_e} \right) \times 100 \%$$

$$\eta_{100\%} = \left(\frac{242,9655844 \text{ W}}{420,1 \text{ W}} \right) \times 100 \%$$

$$\eta_{100\%} = 57,8351784 \%$$

Jadi, Efisiensi pada konfigurasi pompa disusun secara seri dengan bukaan katup 100% sebesar 57,8351784 %.

Hasil perhitungan head pompa, daya hidrolik dan efisiensi pada setiap bukaan katup baik Konfigurasi pompa disusun secara seri dan paralel ditampilkan pada Tabel 4 dan 5 dengan mengikuti cara perhitungan yang sudah di sajikan diatas. Maka, hasil ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4. Tabel hasil perhitungan konfigurasi pompa disusun secara seri

Bukaan Katup (%)	Head (m)	Daya hidrolik (W)	Efisiensi (%)
100	78,19636279	242,9655844	57,8351784
75	46,77706422	141,5172228	33,2434162
50	20,78980632	34,06612786	7,61254254
25	25,9872579	2,124883225	0,37595245

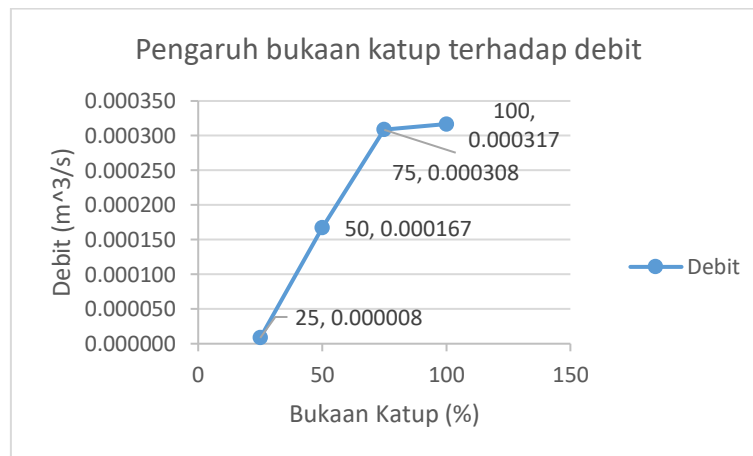
Tabel 5. Hasil perhitungan konfigurasi pompa disusun secara paralel

Bukaan Katup (%)	Head (m)	Daya hidrolik (W)	Efisiensi (%)
100	83,15922528	165,2309196	33,01317074
75	31,18470948	96,89467506	18,89890288
50	25,9872579	80,74556255	15,0841701
25	1,039490316	0,628965435	0,096422725

3.3. Pembahasan

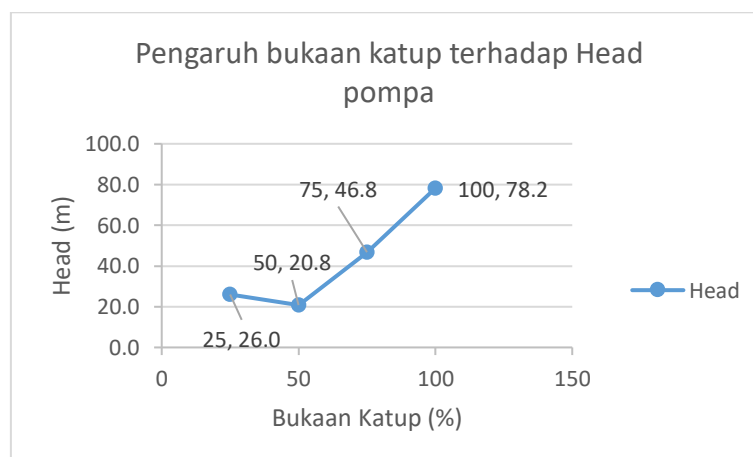
Pada bagian ini, akan ditampilkan grafik hasil perhitungan yang mencakup head pompa, daya hidrolik, dan efisiensi pompa dalam konfigurasi rangkaian seri maupun paralel. Penyajian grafik ini bertujuan untuk memperlihatkan perbandingan kinerja pompa pada kedua konfigurasi tersebut sehingga memudahkan analisis terhadap perubahan karakteristik operasional. Dengan mengamati pola dan tren yang muncul pada grafik, dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh susunan pompa terhadap performa sistem, termasuk variasi head, daya hidrolik, dan efisiensi pada kondisi operasi yang berbeda. Visualisasi data dalam bentuk grafik ini sangat membantu dalam mendukung interpretasi hasil perhitungan serta menjadi dasar yang kuat untuk pembahasan selanjutnya

3.3.1. Konfigurasi pompa disusun secara seri



Gambar 14. Pengaruh bukaan katup terhadap debit air

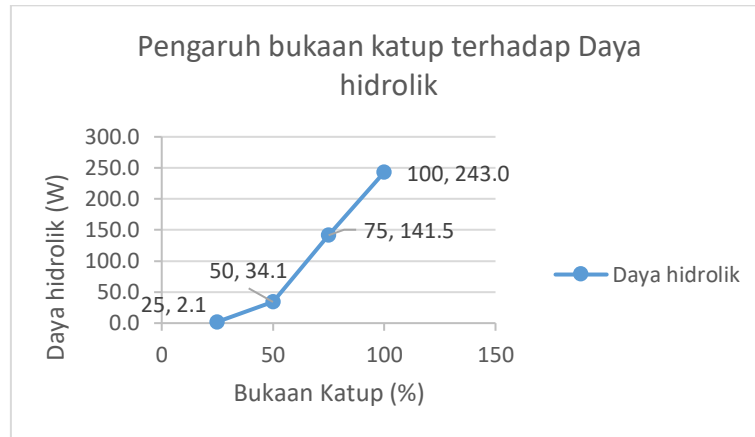
Berdasarkan pada Gambar 14 grafik, debit air pada pompa seri mengalami peningkatan yang cukup pesat seiring bertambahnya persentase bukaan katup, khususnya antara 25% hingga 75%. Pada bukaan 25%, debit tercatat sebesar 0,00008335 m³/s dan melonjak signifikan menjadi 0,000308395 m³/s pada bukaan 75%. Namun, setelah melewati bukaan 75%, pertambahan debit cenderung melambat, dengan nilai tertinggi sebesar 0,00031673 m³/s pada bukaan 100%. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan bukaan katup paling berdampak pada debit di kisaran menengah, sedangkan pada bukaan maksimal, tambahan debit menjadi sangat kecil.



Gambar 15. Pengaruh bukaan katup terhadap head pompa

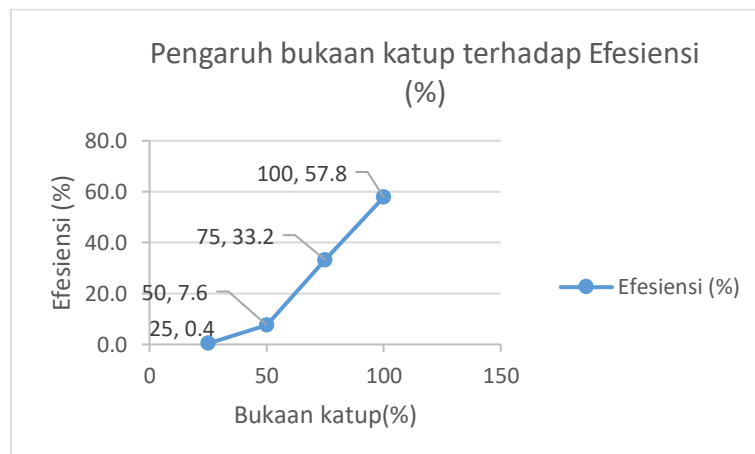
Berdasarkan Gambar 15 grafik, terlihat bahwa nilai head pompa cenderung meningkat seiring bertambahnya persentase bukaan katup pada konfigurasi seri. Pada saat katup dibuka

25%, head yang dihasilkan sebesar 25,99 meter. Nilai head sedikit menurun menjadi 20,79 meter pada bukaan 50%, namun kemudian mengalami kenaikan signifikan hingga 46,78 meter pada bukaan 75%, dan mencapai puncak 78,20 meter saat katup dibuka penuh (100%). Pola ini mengindikasikan bahwa hambatan aliran yang tinggi pada bukaan katup kecil menyebabkan head yang dihasilkan kurang maksimal. Sebaliknya, semakin besar bukaan katup, hambatan aliran menurun sehingga pompa yang disusun secara seri mampu menghasilkan head yang lebih tinggi. Dengan demikian, susunan pompa seri sangat efektif dalam meningkatkan head, khususnya pada bukaan katup yang besar.



Gambar 16. Pengaruh bukaan katup terhadap daya hidrolik

Berdasarkan pada Gambar 16 grafik, terlihat bahwa daya hidrolik mengalami peningkatan yang cukup tajam seiring dengan bertambahnya persentase bukaan katup pada konfigurasi pompa seri. Pada saat katup dibuka 25%, daya hidrolik yang dihasilkan hanya 2,12 W. Ketika bukaan katup ditingkatkan menjadi 50%, daya hidrolik naik menjadi 34,07 W, dan terus bertambah hingga mencapai 141,52 W pada bukaan 75%. Nilai tertinggi tercatat pada bukaan katup 100%, yaitu sebesar 242,97 W. Pola ini menunjukkan bahwa semakin besar bukaan katup, hambatan aliran semakin berkurang, sehingga pompa yang disusun secara seri mampu bekerja lebih efisien dan menghasilkan daya hidrolik yang lebih tinggi. Oleh karena itu, konfigurasi pompa seri sangat efektif untuk meningkatkan daya hidrolik, terutama pada kondisi katup terbuka penuh.

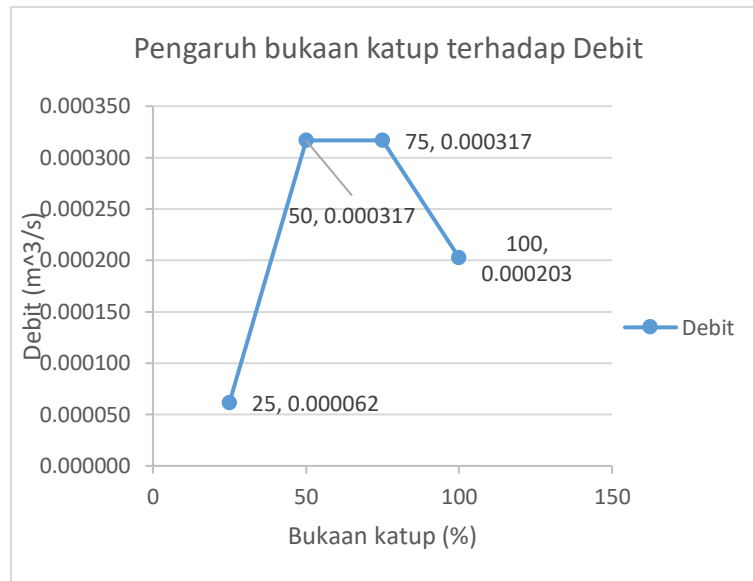


Gambar 17. Pengaruh bukaan katup terhadap efisiensi

Berdasarkan Gambar 17 grafik, efisiensi pompa yang disusun secara seri meningkat seiring dengan bertambahnya persentase bukaan katup. Pada posisi 25%, efisiensi masih sangat rendah yaitu 0,38%, lalu naik menjadi 7,61% saat bukaan mencapai 50%. Efisiensi terus

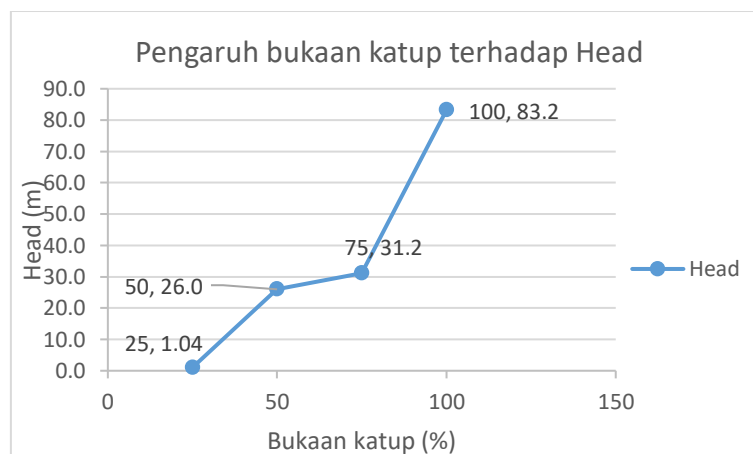
bertambah signifikan hingga 33,24% pada bukaan 75%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 57,84% saat katup dibuka penuh (100%). Data ini menunjukkan bahwa semakin besar bukaan katup, hambatan aliran semakin kecil sehingga efisiensi sistem pun meningkat secara signifikan.

3.3.2. Konfigurasi pompa disusun secara paralel



Gambar 18. Pengaruh bukaan katup terhadap debit

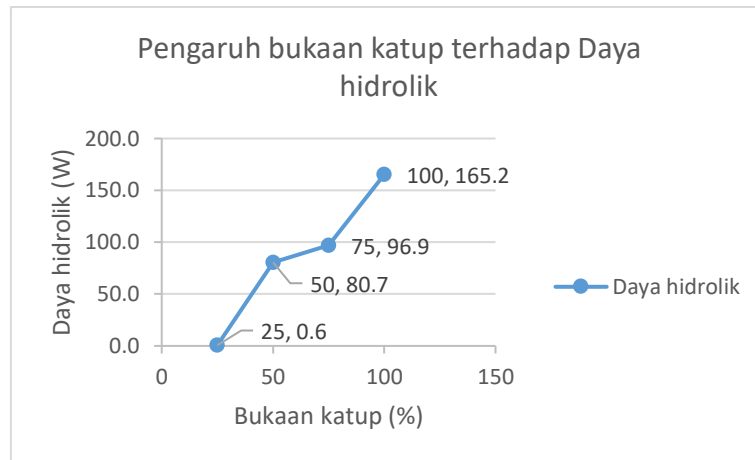
Berdasarkan Gambar 18 grafik "Pengaruh bukaan katup terhadap Debit", terlihat adanya peningkatan signifikan pada debit aliran ketika bukaan katup diubah dari 25% ke 50%, dengan nilai naik dari 0,00006179 m³/s menjadi 0,00031673 m³/s. Pada bukaan 75%, debit tetap konstan di angka 0,00031673 m³/s, namun mengalami penurunan menjadi 0,000202541 m³/s saat katup dibuka penuh (100%). Fenomena ini menunjukkan bahwa dalam sistem pompa paralel, efisiensi debit maksimum dicapai pada rentang bukaan katup 50-75%. Fenomena penurunan debit pada bukaan 100% dapat disebabkan oleh rendahnya hambatan sistem yang mengakibatkan penurunan tekanan, sehingga mengganggu distribusi aliran optimal. Hasil ini mengonfirmasi bahwa konfigurasi pompa paralel efektif meningkatkan debit pada bukaan katup menengah, meskipun tidak selalu memberikan debit maksimal pada kondisi katup terbuka penuh.



Gambar 19. Pengaruh bukaan katup terhadap head

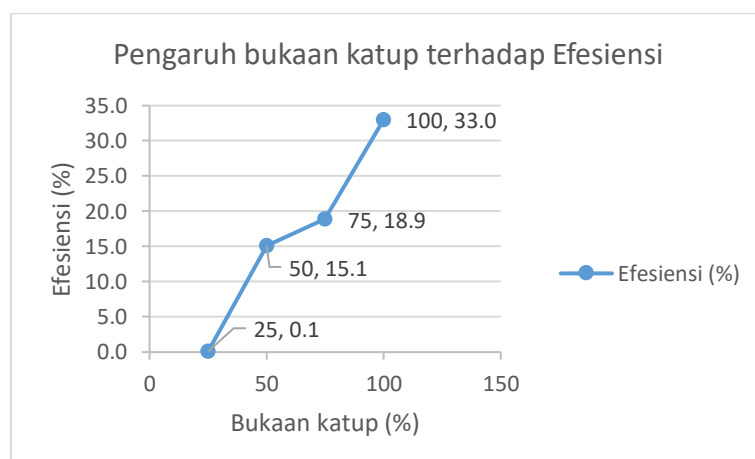
Gambar 19 di atas memperlihatkan bahwa nilai head bertambah seiring dengan meningkatnya persentase bukaan katup. Saat katup dibuka 25%, head yang dihasilkan hanya 1,04 meter, kemudian naik menjadi 25,99 meter pada bukaan 50%, dan mencapai 31,18 meter pada

bukaan 75%. Head tertinggi, yaitu 83,16 meter, dicapai saat katup dibuka sepenuhnya (100%). Data ini menunjukkan bahwa semakin lebar bukaan katup, hambatan aliran semakin berkurang, sehingga pompa yang disusun paralel mampu menghasilkan head yang lebih besar dan meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.



Gambar 20. Pengaruh bukaan katup terhadap daya hidrolik

Berdasarkan Gambar 20 dapat diamati bahwa daya hidrolik mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase bukaan katup pada konfigurasi pompa paralel. Pada saat katup dibuka 25%, daya hidrolik yang dihasilkan sangat rendah, yaitu hanya sekitar 0,63 W. Ketika bukaan katup dinaikkan menjadi 50%, terjadi lonjakan daya hidrolik secara signifikan hingga mencapai 80,75 W, kemudian meningkat lagi pada bukaan 75% menjadi 96,89 W, dan mencapai nilai maksimum sebesar 165,23 W pada bukaan 100%. Tren ini menunjukkan bahwa semakin besar bukaan katup, hambatan aliran dalam sistem semakin menurun, sehingga aliran fluida dan daya hidrolik yang dihasilkan oleh pompa paralel menjadi lebih optimal. Sebaliknya, pada bukaan katup yang kecil, hambatan aliran masih sangat tinggi sehingga daya hidrolik yang dihasilkan pun sangat terbatas. Secara keseluruhan, hasil grafik ini mengindikasikan bahwa penggunaan pompa paralel dapat meningkatkan daya hidrolik secara signifikan pada debit aliran yang tinggi, khususnya saat katup dibuka penuh, sehingga sistem menjadi lebih efisien dan mampu memenuhi kebutuhan daya pada kapasitas aliran yang besar.



Gambar 21. Pengaruh bukaan katup terhadap efisiensi

Berdasarkan Gambar 21 grafik "Pengaruh bukaan katup terhadap Efisiensi", tampak bahwa efisiensi sistem cenderung meningkat seiring bertambahnya persentase bukaan katup. Pada saat katup dibuka 25%, efisiensi yang dihasilkan sangat rendah, yaitu hanya 0,096%. Ketika

bukaan katup dinaikkan menjadi 50%, efisiensi melonjak tajam hingga 15,08%, lalu terus meningkat pada bukaan 75% sebesar 18,90%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 33,01% pada bukaan 100%. Data ini memperlihatkan bahwa semakin besar bukaan katup, hambatan aliran semakin berkurang sehingga head loss menurun dan efisiensi sistem menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, pada bukaan katup yang kecil, head loss meningkat dan potensi terjadinya kavitasi juga lebih besar, sehingga efisiensi turun drastis. Secara umum, grafik ini menunjukkan bahwa sistem akan bekerja jauh lebih efisien jika katup dibuka penuh dibandingkan dengan saat katup hanya terbuka sebagian.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan pada pengaruh variasi bukaan katup terhadap debit, head, daya, dan efisiensi, dapat disimpulkan bahwa secara umum, konfigurasi pompa paralel memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan pompa seri, khususnya pada bukaan katup 50% dan 25%. Selain itu, efisiensi tertinggi pada kedua konfigurasi tercapai saat bukaan katup 75%, dengan nilai efisiensi pada pompa seri sebesar 33,24% dan pada pompa paralel sebesar 33,01%. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengoperasian pompa pada bukaan katup 75% merupakan kondisi yang paling optimal untuk memperoleh efisiensi maksimum, baik pada sistem seri maupun paralel. Dengan demikian, pemilihan konfigurasi pompa serta pengaturan bukaan katup yang sesuai sangat berpengaruh dalam meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem pompa pada instalasi pipa bertekanan.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis efisiensi pada berbagai konfigurasi dan bukaan katup, disarankan bagi industri kecil untuk lebih mempertimbangkan penggunaan konfigurasi pompa paralel, khususnya apabila efisiensi energi dan penghematan biaya operasional menjadi prioritas utama. Selain itu, pengoperasian pompa sebaiknya dioptimalkan pada bukaan katup sekitar 75%, karena pada kondisi tersebut efisiensi sistem mencapai nilai maksimum. Untuk mendukung kinerja sistem yang stabil dan efisien, industri kecil juga dianjurkan mengembangkan sistem kontrol otomatis yang mampu mengatur bukaan katup secara presisi sesuai kebutuhan proses. Dengan pemilihan konfigurasi dan pengaturan katup yang tepat, tidak hanya efisiensi energi yang dapat ditingkatkan, tetapi juga umur peralatan dapat diperpanjang dan distribusi fluida dalam proses produksi menjadi lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Medan Area atas segala dukungan yang diberikan selama proses penulisan ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Asido Napitupulu atas bantuan, arahan, dan motivasi yang sangat berarti. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan sesama mahasiswa yang telah memberikan semangat, berbagi pengetahuan, serta menjadi tempat berdiskusi selama proses studi dan penyusunan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Akhmadi, Amin Nur, Faqih Fatkhurrozak, dan Firman Lukman Sanjaya. 2024. "Rancang Bangun Mesin Steam Jet Mini Portable Power Spayer". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):1-10. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.95>.
- Ariesandi, Fitra Bayu. 2019. "Analisis Kerugian Tekanan Terhadap Variasi Hambatan Pada Belokan

- Pipa Poly Vinyl Chloride.” *Andrew’s Disease of the Skin Clinical Dermatology*, 5–20.
- Çengel, Yunus A., and Jhon M. Cinambala. 2018. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. Fourth Edi. McGraw-Hill Education.
- Harahap, S., and M. I. Fakhruddin. 2018. “Perancangan Pompa Sentrifugal untuk Water Treatment Plant Kapasitas 0.25 M³/S pada Kawasan Industri Karawang.”
- Helmizar, Setiawan E., and A. Nuramal. 2019. “Karakteristik Aliran pada Susunan Pompa yang Berbeda Head Secara Seri dan Paralel.” *Teknik Mesin, Universitas Bengkulu* 3: 31–36. <https://krakatauindustri.com/info-media/artikel/fungsi-pompa-untuk-industri>.
- Muis, Abdul, Muchsin, and Muhammad Hasan Bachri. 2019. “Karakteristik Kavitasasi pada Pompa Sentrifugal.” *Jurnal Mekanikal* 10 (2): 965–74.
- Permana, Dadang Suhendra. 2017. “Analisa Jenis dan Spesifikasi Pompa Air Bersih Gedung Pabrik Perakitan PT. ADM.” *Sinergi* 21 (2): 91–100.
- Sularso, Haruo Tahara, and Hanio Tahara. 2000. *Pompa dan Kompresor*. Edisi ketujuh. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syahrizal, Iman, and Daud Perdana. 2020. “Kajian Eksperimen Instalasi Pompa Seri dan Paralel terhadap Efisiensi Penggunaan Energi.” *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 8 (2): 194–200. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i2.1056>.
- Wahyudi, Djoko, and Slamet Haryono. 2011. “Uji Kinerja Pompa Sentrifugal Susunan Paralel terhadap Head dan Kapasitas.” *Energy: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik* 1 (1).
- Wira, Tripittra. 2020. “Studi Eksperimen Performa Pompa Sentrifugal MQC175 pada Rangkaian Seri.” 5–27.