

**STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA POMPA DENGAN
KONFIGURASI SERI DAN PARALEL PADA SISTEM PIPA
BERTEKANAN**

SKRIPSI

OLEH :

**JIMY LINGGA
218130092**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 5/6/26

Access From (repositori.uma.ac.id)5/6/26

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA POMPA DENGAN
KONFIGURASI SERI DAN PARALEL PADA SISTEM PIPA
BERTEKANAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mempeoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Univesitas Medan Area

OLEH :

JIMY LINGGA

218130092

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA


© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Studi Eksperimental Kinerja Pompa dengan Konfigurasi Seri dan Paralel pada Sistem Pipa Bertekanan
Nama Mahasiswa : Jimmy Lingga
NIM : 218130092
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Ketua Pembimbing



Jufrizal, ST., MT.

Pembimbing



Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T.,

Dekan
FAKULTAS TEKNIK



Dr. Iswandi, S.T., M.T.,

Ka. Prodi/WD 1
DI. TEKNIK

Tanggal Lulus: 6 Oktober 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

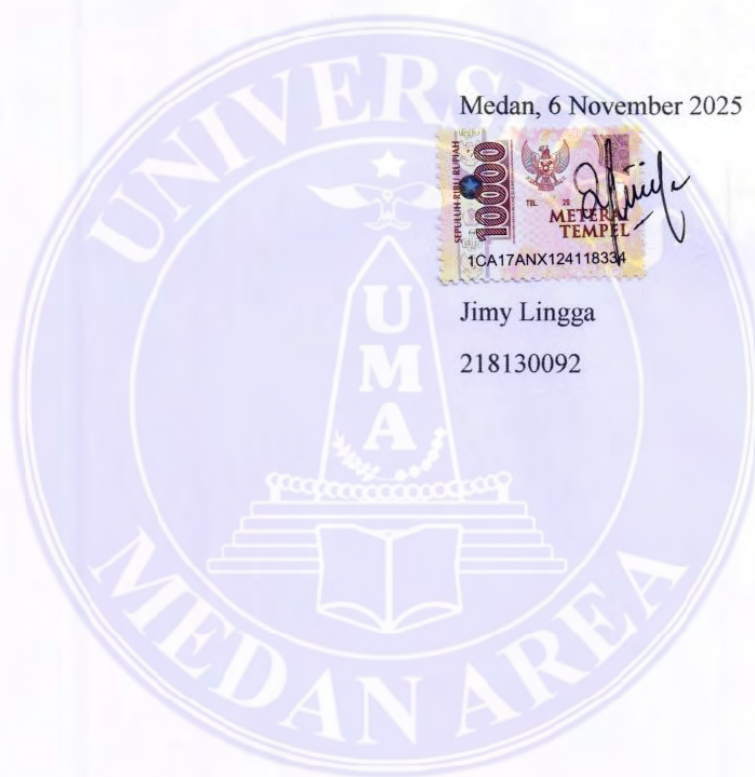
Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 6 November 2025



Jimmy Lingga

218130092



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

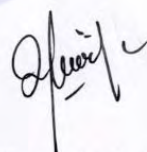
Nama : Jimy Lingga
NPM : 218130092
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Studi Eksperimental Kinerja Pompa dengan Konfigurasi Seri dan Paralel pada Sistem Pipa Bertekanan**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 6 November 2025
Yang menyatakan



(Jimy Lingga)

ABSTRAK

Pompa sentrifugal banyak digunakan di industri seperti pengolahan air, minyak dan gas, irigasi pertanian, sistem pendingin dan lainnya. Pompa digunakan untuk memindahkan fluida dengan viskositas tertentu secara efisien dengan meningkatkan volume dan tekanan. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi bukaan 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 bukaan katup 75%, 50% dan 25%. Efisiensi maksimum dicapai pada bukaan katup 100% dengan nilai sekitar 33,5% untuk konfigurasi seri. Pengaturan bukaan 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 bukaan katup optimal sekitar 75% untuk efisiensi energi dan penghematan biaya. Pengembangan sistem kontrol otomatis bukaan katup juga dianjurkan untuk memaksimalkan efisiensi, memperpanjang umur peralatan, dan mengoptimalkan distribusi fluida.

Kata kunci: Pompa seri, pompa paralel, bukaan katup, kinerja pompa, efisiensi

ABSTRACT

Centrifugal pumps are widely used in industries such as water treatment, oil and gas, agricultural irrigation, cooling systems, and others. The pump is used to efficiently move fluids with specific viscosity levels by increasing flow rate and pressure. 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 valve openings of 75%, 50% and 25%. The maximum efficiency is achieved at 100% valve opening with a value of around 33,5% on series 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. The development of 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*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini merupakan Tugas Akhir guna memenuhi syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Universitas Medan Area.

Dalam penulisan dan penelitian skripsi ini banyak kendala yang penulis alami, namun berkat bantuan moril dan material dari berbagai pihak, maka skripsi ini dapat diselesaikan, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

- 1) Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
- 2) Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- 3) Bapak Dr. Iswandi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
- 4) Bapak Jufrizal, ST., M.T., selaku Dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, memotivasi dan memberi saran kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
- 5) Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
- 6) Seluruh staff pegawai Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
- 7) Bapak P. Lingga dan Ibu R. br Munthe sebagai Orang tua saya, beserta Keluarga yang memberikan dukungan dan doa untuk saya dalam penulisan skripsi.
- 8) Ibu Yetty Nova sebagai Istri dan Felicia Naomi Lingga sebagai anak yang selalu setia memberikan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
- 9) Seluruh teman-teman Teknik Mesin yang senantiasa memberikan dukungan untuk saya dalam penulisan skripsi saya ini
- 10) Bengkel Arya sebagai tempat pembuatan dan perakitan pompa dan sistem pipa bertekanan yang digunakan pada skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi

kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun, baik untuk kalangan pendidikan khususnya maupun masyarakat umumnya. Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Penulis



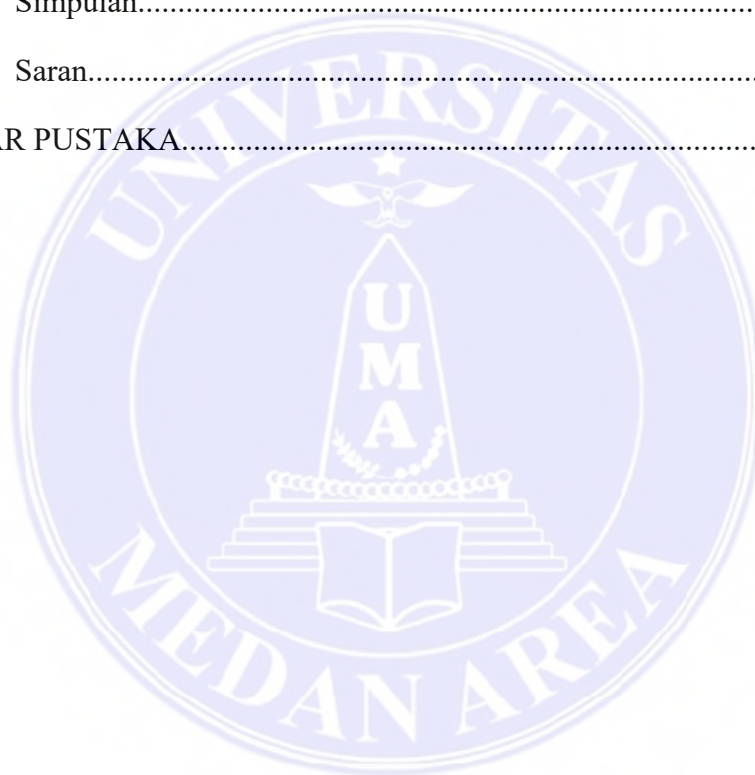
Jimy Lingga



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Hipotesis Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Definisi Pompa.....	6
2.2. Konfigurasi Pompa.....	20
2.3. Sistem Pipa Bertekanan.....	22
2.4. Hukum Bernoulli.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.2. Bahan dan Alat.....	29
3.3. Metode Penelitian.....	36
3.4. Prosedur Kerja.....	38

3.5. Populasi dan Sampel.....	40
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1. Data Hasil Pengukuran.....	42
4.2. Hasil Perhitungan.....	43
4.3. Pembahasan.....	47
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1. Simpulan.....	55
5.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	58

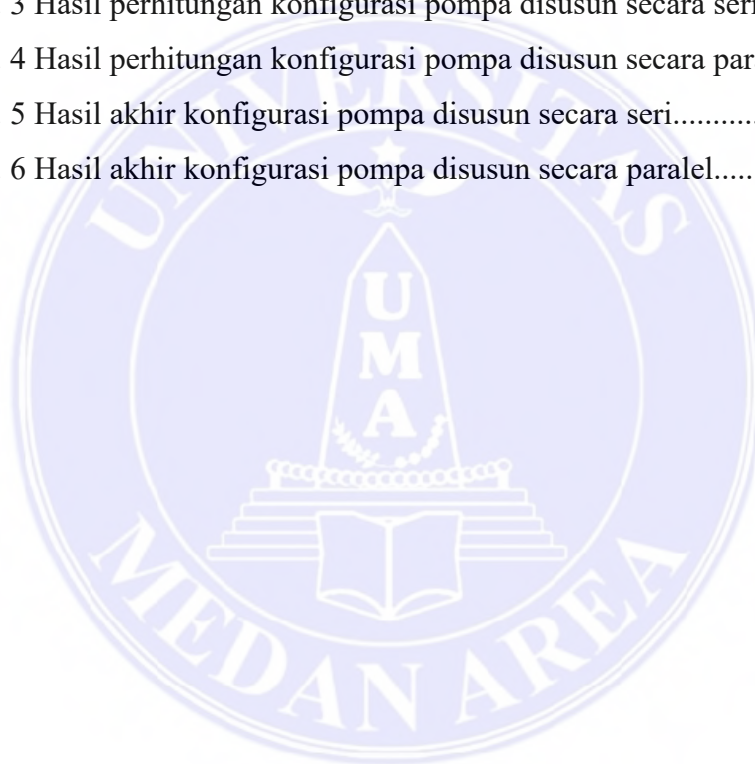


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian Utama Centrifugal Pump.....	8
Gambar 2. 2 Gear Pump.....	9
Gambar 2. 3 Piston Pump.....	11
Gambar 2. 4 Pompa Diafragma.....	12
Gambar 2. 5 Pompa Lobe.....	13
Gambar 2. 6 Ilustrasi Konfigurasi Pompa Seri dan Paralel.....	22
Gambar 2. 7 Ilustrasi sistem pipa bertekanan.....	23
Gambar 3. 1. Pipa PVC.....	30
Gambar 3. 2. Sambungan.....	30
Gambar 3. 3 Pompa Sentrifugal.....	31
Gambar 3. 4 Globe valve (Katup).....	31
Gambar 3. 5 Pompa sentrifugal (Katup).....	32
Gambar 3. 6 Grafik <i>performance</i> pompa Shimizu PS-116 BIT 30.....	33
Gambar 3. 7 Gelas Ukur.....	34
Gambar 3. 8 Pressure Gauge.....	35
Gambar 3. 9 Power Meter.....	35
Gambar 3. 10 Susunan pompa instalasi tunggal.....	37
Gambar 3. 11 Susunan instalasi pompa seri.....	37
Gambar 3. 12 Susunan instalasi pompa paralel.....	37
Gambar 3. 13 Susunan instalasi pompa paralel.....	39
Gambar 3. 14 Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 4. 1 Pengaruh bukaan katup terhadap debit air disusun seri.....	47
Gambar 4. 2 Pengaruh bukaan katup terhadap head pompa disusun seri.....	48
Gambar 4. 3 Pengaruh bukaan katup terhadap efesiensi disusun seri.....	49
Gambar 4. 4 Pengaruh bukaan katup terhadap debit disusun paralel.....	50
Gambar 4. 5 Pengaruh bukaan katup terhadap head disusun paralel.....	51
Gambar 4. 6 Pengaruh bukaan katup terhadap efesiensi disusun paralel.....	52
Gambar 4. 7 Pengaruh bukaan katup terhadap efesiensi disusun seri dan paralel.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Tugas Akhir.....	29
Tabel 3. 2 Spesifikasi pompa sentrifugal.....	32
Tabel 3. 3 Spesifikasi gelas ukur.....	34
Tabel 3. 4 Spesifikasi Pressure Gauge.....	35
Tabel 3. 5 Populasi dan Sampel.....	40
Tabel 4. 1 Data eksperimen konfigurasi pompa disusun secara seri.....	42
Tabel 4. 2 Data eksperimen konfigurasi pompa disusun secara paralel.....	43
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan konfigurasi pompa disusun secara seri.....	45
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan konfigurasi pompa disusun secara paralel.....	47
Tabel 4. 5 Hasil akhir konfigurasi pompa disusun secara seri.....	53
Tabel 4. 6 Hasil akhir konfigurasi pompa disusun secara paralel.....	53



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pompa adalah perangkat mekanis yang umum digunakan dalam berbagai skala, baik rumah tangga maupun industri. Fungsi utama pompa adalah meningkatkan energi tekanan pada fluida cair agar dapat dipindahkan dari daerah bertekanan rendah ke daerah bertekanan lebih tinggi. Selain itu, pompa juga berperan dalam mensirkulasikan fluida dalam suatu sistem perpipaan. Salah satu jenis pompa yang sering digunakan adalah pompa sentrifugal, yang bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal dari impeller yang berputar untuk mempercepat laju aliran fluida dan meningkatkan tekanannya. Namun, dalam aplikasinya, pompa sentrifugal sering menghadapi masalah kavitasi. Kavitasi adalah fenomena terbentuknya gelembung uap dalam fluida akibat tekanan di dalam pompa turun hingga di bawah tekanan uap jenuh pada suhu operasi. Gelembung uap ini memiliki siklus hidup singkat dan terbawa oleh aliran fluida menuju daerah bertekanan lebih tinggi, di mana gelembung tersebut pecah dan menyebabkan benturan keras pada dinding pompa. Pecahnya gelembung ini menimbulkan tumbukan kuat yang dapat merusak permukaan pompa dan menurunkan kinerjanya secara signifikan (Rasyid, 2022).

Karakteristik pompa sangat penting dalam perancangan sistem perpipaan karena menggambarkan hubungan antara beberapa parameter utama, yaitu tinggi tekan (head), kapasitas aliran (debit), daya yang dibutuhkan, dan efisiensi pompa itu sendiri. Tinggi tekan yang dihasilkan pompa sangat dipengaruhi oleh kerugian

energi di sepanjang perpipaan, yang terbagi menjadi kerugian mayor dan minor (Yani, 2018).

Kerugian mayor terjadi akibat gesekan antara fluida dengan dinding pipa sepanjang jalur aliran. Besarnya kerugian ini dipengaruhi oleh faktor seperti elastisitas pipa, diameter pipa, kekasaran permukaan dalam pipa, kecepatan aliran, dan viskositas fluida. Semakin panjang pipa dan semakin kecil diameter pipa, kerugian mayor akan semakin besar. Oleh karena itu, desain perpipaan harus memperhatikan faktor-faktor ini untuk meminimalkan kerugian energi (Muhammad, 2020).

Sementara itu, kerugian minor muncul akibat perubahan arah aliran, penyempitan atau pelebaran penampang, serta adanya aksesoris seperti belokan, sambungan, katup, dan valve dalam perpipaan. Walaupun nilainya umumnya lebih kecil dibandingkan kerugian mayor, kerugian minor dapat menjadi signifikan jika jumlah fitting dan aksesoris cukup banyak (H. Alkindi, H. Santosa, 2023). Pemahaman mendalam mengenai kedua jenis kerugian ini sangat penting dalam perancangan dan pengoperasian sistem perpipaan. Dengan mengetahui besarnya kerugian head, spesifikasi pompa yang tepat dapat ditentukan sehingga pompa dapat beroperasi secara efisien dan kehilangan energi dapat ditekan seminimal mungkin. Selain itu, perhitungan head loss juga berguna dalam menentukan daya pompa yang dibutuhkan, sehingga terhindar dari pemborosan energi akibat pemilihan pompa yang berlebihan atau kurang kapasitas

Penelitian dan simulasi mengenai karakteristik distribusi air dalam perpipaan telah banyak dilakukan. Misalnya, Chanson meneliti desain hidraulik

pada saluran tertutup seperti culvert dan menunjukkan bahwa variasi desain dan konfigurasi perpipaan sangat mempengaruhi besarnya kerugian energi, sehingga inovasi desain diperlukan untuk meningkatkan efisiensi distribusi air (H. Alkindi, H. Santosa, 2023).

Sebagai contoh, pada pengujian pompa chiller dengan variasi bukaan katup, ditemukan bahwa semakin besar bukaan katup, debit aliran meningkat, namun head losses mayor dan minor juga ikut bertambah. Pada bukaan katup 100%, debit mencapai 0,0053 m³/s dengan head losses mayor 4,629 m dan head losses minor 9,7 m. Sebaliknya, pada bukaan 10%, head losses mayor dan minor menurun menjadi 1,151 m dan 2,1 m. Hal ini menunjukkan pentingnya pengaturan bukaan katup dan desain perpipaan untuk mencapai keseimbangan antara kapasitas aliran dan efisiensi energi (Yani, 2018).

Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai karakteristik pompa dan faktor yang mempengaruhi head loss sangat penting dalam perancangan dan pengoperasian sistem perpipaan yang efisien. Khususnya, variasi bukaan katup dapat secara signifikan memengaruhi kinerja pompa, seperti debit aliran, tinggi tekan, daya yang dibutuhkan, dan efisiensi pompa. Oleh karena itu, optimalisasi perpipaan dapat dicapai melalui analisis pengaruh variasi bukaan katup agar kerugian energi diminimalisir dan kinerja pompa tetap optimal. Penelitian ini bertujuan memberikan pemahaman lebih baik mengenai pengaruh perubahan bukaan katup terhadap performa pompa sebagai dasar pengambilan keputusan teknis untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas perpipaan pada berbagai aplikasi, baik industri, pertanian, maupun domestik.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan di dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi bukaan katup mempengaruhi tinggi tekan (head) yang dihasilkan oleh pompa dalam perpipaan?
2. Bagaimana variasi bukaan katup mempengaruhi efisiensi kerja pompa dalam perpipaan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingi dicapai dalam penelitian dan penulisan tugas akhir yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi bukaan katup terhadap debit, tinggi tekan (head), dan daya yang dibutuhkan oleh pompa dalam perpipaan.
2. Menilai dampak variasi bukaan katup terhadap efisiensi kerja pompa pada sistem perpipaan untuk menentukan kondisi operasi yang optimal.

1.4. Hipotesis Penelitian

Konfigurasi pompa seri menghasilkan tekanan yang lebih tinggi namun kapasitas aliran yang lebih rendah, sedangkan konfigurasi pompa paralel menghasilkan kapasitas aliran yang lebih besar namun tekanan yang lebih rendah, dengan masing-masing konfigurasi memiliki efisiensi energi yang berbeda tergantung pada kebutuhan sistem.

1.5. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh variasi bukaan katup terhadap kinerja pompa, khususnya pada debit, tinggi tekan (head), daya yang dibutuhkan, dan efisiensi operasional.
2. Memberikan kontribusi ilmiah dan praktis sebagai referensi dalam pengembangan ilmu mesin dan hidraulika, khususnya terkait karakteristik pompa dan perpipaan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Pompa

Pompa adalah alat untuk memindahkan fluida dari satu tempat ketempat lainnya yang bekerja atas dasar mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan alat tersebut digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan atau elevasi (ketinggian). Pada umumnya pompa digerakkan oleh motor, mesin atau sejenisnya. Energi yang diberikan oleh pompa akan mengatasi gaya gesek dan tekanan yang ada dalam sistem pipa atau saluran untuk menghasilkan aliran fluida yang diinginkan.

Prinsip operasinya adalah pompa bekerja dengan memberikan perbedaan tekanan antara sisi *suction* (hisap) dan sisi *discharge* (tekan) dengan mentransfer energi mekanis dari sumber energi luar (motor listrik, motor bensin/diesel ataupun turbin dll.) untuk dipindahkan ke fluida kerja yang dilayani. Dengan demikian pompa akan menaikkan energi cairan yang akan dipindahkan sehingga cairan tersebut dapat mengalir dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi.

Dalam suatu industri, pompa merupakan peralatan pendukung (*auxiliary*) yang sangat penting, hal ini dikarenakan pompa dapat digunakan sebagai peralatan sirkulasi air pendingin, penggerak fluida kerja pada sistem hidrolik, untuk sirkulasi minyak pelumas pada mesin, dsb. Selain itu pompa juga digunakan sebagai penyuplai kebutuhan air bersih, pemadam kebakaran dan lain-lain (Helmizar, 2019).

Dalam hasil penelitiannya (Helmizar, 2019) menyoroti pentingnya memilih antara konfigurasi seri dan paralel berdasarkan kebutuhan sistem. Konfigurasi seri merupakan pilihan terbaik jika dibutuhkan head (tekanan) tinggi; misalnya memompa cairan ke ketinggian lebih besar. Sedangkan Paralel lebih efisien untuk menghasilkan debit tinggi seperti dalam distribusi air. Namun, perlu mempertimbangkan bahwa kenaikan debit akan menurunkan head total, penting dalam desain sistem yang efisien.

2.1.1. Jenis – Jenis Pompa

Pompa difungsikan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain. Berdasarkan prinsip kerja dan desain, pompa dikelompokkan dalam beberapa jenis utama, yaitu:

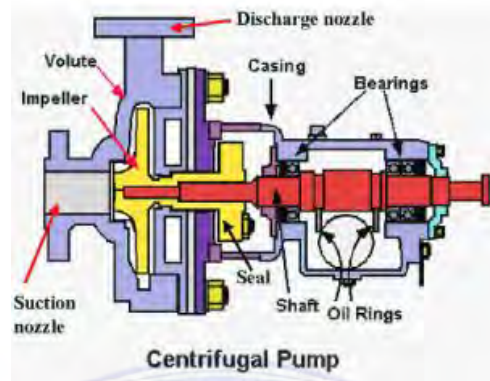
1. Pompa Sentrifugal/*Centrifugal* (Radial)

Menurut Saputra (2020) Pompa sentrifugal merupakan salah satu mesin yang berfungsi memindahkan fluida dengan cara putaran (menaikkan tekanan dengan gaya sentrifugal) dan fluida keluar secara radial melalui impleller.

Salah satu jenis pompa kerja dinamis adalah pompa sentrifugal yang prinsip kerjanya mengubah energi kinetik (kecepatan) cairan menjadi energi potensial melalui suatu impeller yang berputar di dalam casing. Gaya sentrifugal terjadi karena adanya gerakan berputar sebuah benda atau partikel yang melalui lintasan lengkung (melingkar)

Pompa sentrifugal merupakan pompa dinamis yang paling banyak digunakan karena memiliki bentuk yang sederhana, pengoperasian lebih mudah dan harga yang relatif murah. Pompa sentrifugal bekerja dengan cara memutar

fluida di dalam impeller, menciptakan gaya sentrifugal yang mendorong fluida keluar dengan tekanan tinggi (Wahyudi & Haryono, 2011).



Gambar 2. 1 Bagian Utama *Centrifugal Pump*

(Sumber : <https://parsialteknik.com/komponen-pompa-sentrifugal/>)

Rumah pompa berbentuk volute chamber yang didalamnya berisi impeller. Poros digerakan oleh motor penggerak dan cairan masuk kedalam impeller melalui inlet. Dari impeller cairan dialirkan ke discharge melalui saluran berbentuk konis (volute chamber). Fungsi volute ini merubah sebagian energi kinetik menjadi energi potential yang berupa kenaikan tekanan.

2. Pompa Positif Displacement (*Positive Displacement Pump*)

Pompa perpindahan positif (*Positive Displacement Pump*) adalah jenis pompa yang memindahkan fluida dengan cara memaksa sejumlah volume fluida tertentu untuk dipindahkan setiap kali pompa bekerja. Dengan kata lain, pompa ini memastikan aliran fluida yang konsisten meskipun ada perubahan tekanan di sistem. Pompa perpindahan positif sering digunakan untuk aplikasi yang memerlukan aliran yang sangat tepat dan tekanan tinggi (Adhari et al., 2022).

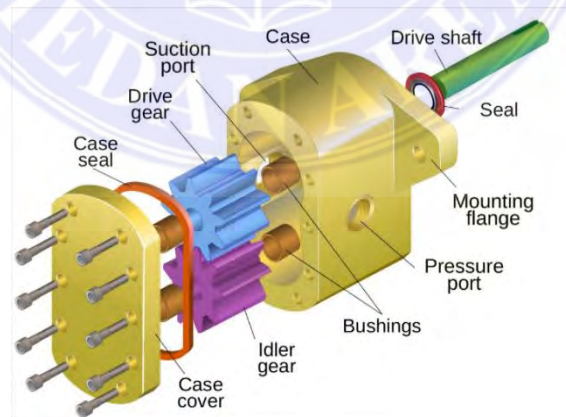
Adapun Jenis-jenis pompa perpindahan positif :

a. Pompa Gear (Gear Pump)

Pompa gear merupakan jenis pompa positif displacement yang mengandalkan gerakan gigi-gigi roda gigi untuk memindahkan cairan dari satu ruang ke ruang lainnya. Desain sederhana pompa gear membuatnya efektif dalam memompa cairan dengan viskositas tinggi dan memberikan aliran yang konsisten.

Klasifikasi utama pompa gear terbagi menjadi dua jenis, yaitu pompa gear eksternal dan pompa gear internal. Pompa gear eksternal memiliki gigi-gigi yang berputar di luar casing, sementara pompa gear internal memiliki gigi-gigi yang berputar di dalam casing.

Pompa gear diterapkan dalam berbagai sektor industri dengan keberhasilan yang signifikan. Dalam industri otomotif, pompa gear digunakan untuk memindahkan oli mesin dengan viskositas tinggi, memastikan pelumasan yang optimal. Di sektor manufaktur, khususnya dalam pemrosesan plastik, pompa gear membantu dalam pemindahan materi yang seringkali kental. Aplikasi lain termasuk industri kimia, di mana pompa gear dapat menangani pemindahan bahan kimia dengan presisi.



Gambar 2. 2 Gear Pump

(Sumber : <https://vacuumpump.co.id/blog/gear-pump>)

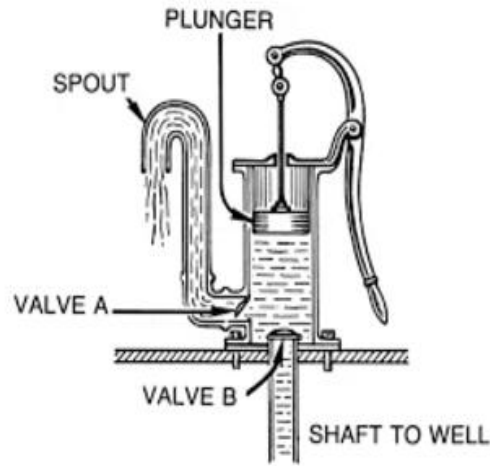
b. Pompa Piston (Piston Pump)

Pompa piston merupakan salah satu jenis pompa yang memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi, terutama di industri dan sistem mekanik. Prinsip kerja pompa piston melibatkan gerakan bolak-balik dari piston dalam suatu silinder untuk menciptakan perbedaan tekanan yang memaksa cairan dipindahkan. Pompa piston memiliki keunggulan dalam kemampuannya menghasilkan tekanan tinggi dan akurasi yang tinggi dalam pemindahan cairan.

Jenis Pompa Piston:

- a) Pompa Piston Reciprocating (Reciprocating Piston Pump): Pompa ini menggunakan gerakan bolak-balik piston untuk memindahkan cairan. Pompa jenis ini umum digunakan dalam aplikasi yang memerlukan tekanan tinggi dan akurasi dosis, seperti dalam industri farmasi.
- b) Pompa Plunger: Pompa ini mirip dengan pompa piston reciprocating, namun menggunakan plunger atau stang yang bergerak dalam suatu silinder untuk memindahkan cairan. Pompa plunger biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan tekanan yang sangat tinggi.

Pompa piston memiliki berbagai aplikasi penting di berbagai sektor industri. Dalam industri minyak dan gas, pompa piston menjadi pilihan utama untuk memindahkan bahan dengan berbagai tingkat viskositas, termasuk minyak dan bahan bakar. Di sektor kimia, pompa piston digunakan untuk mengalirkan bahan kimia dengan akurasi tinggi, memastikan proses produksi berjalan dengan tepat.



Gambar 2. 3 Piston Pump

(Sumber : <https://vacuumpump.co.id/blog/pompa-piston>)

- c) Pompa Diafragma: Pompa diafragma merupakan jenis pompa yang menonjol karena desainnya yang unik, di mana cairan dipindahkan melalui gerakan naik-turun diafragma fleksibel. Dalam dunia industri, pompa ini memiliki klasifikasi dan aplikasi yang beragam, menjadikannya pilihan yang populer untuk pemindahan cairan di berbagai konteks.

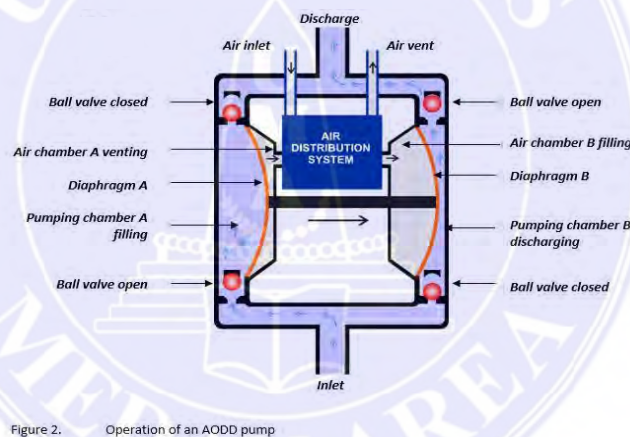
Keunggulan utama pompa diafragma melibatkan kemampuannya untuk mengatasi cairan berbahaya, viskositas tinggi, dan partikel-padatan. Selain itu, desainnya yang tahan korosif dan kemampuan untuk beroperasi dalam berbagai kondisi membuatnya sangat serbaguna dalam berbagai sektor industry.

Jenis - Jenis Pompa Diafragma:

- Pompa Diafragma AODD (Air-Operated Double Diaphragm): Pompa ini menggunakan tekanan udara untuk menggerakkan diafragma ganda, menciptakan siklus hisap dan pemompaan yang efisien.

- Pompa Diafragma Elektrik: Beroperasi dengan motor listrik, pompa ini menggerakkan diafragma untuk memindahkan cairan. Biasanya lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan presisi dan kontrol yang tinggi.

Pompa diafragma memiliki beragam aplikasi yang signifikan di berbagai sektor industri. Dalam industri kimia, pompa diafragma sering menjadi pilihan utama untuk memindahkan bahan kimia berbahaya dan korosif. Keamanan tinggi yang dimilikinya membuatnya sangat cocok untuk menangani cairan-cairan berpotensi berbahaya dalam proses produksi kimia.



Gambar 2. 4 Pompa Diafragma

(Sumber : <https://vacuumpump.co.id/blog/pompa-diafragma>)

- d) Pompa Lobe atau sering disebut sebagai pompa lobus, merupakan jenis pompa positif displacement yang dirancang untuk memindahkan cairan dengan keakuratan dan kebersihan tinggi. Desainnya melibatkan dua atau lebih lobus atau daun penghisap yang berputar secara sinkron dalam casing atau rumah pompa. Keistimewaan utama dari pompa lobe adalah

kemampuannya mengatasi pemindahan cairan dengan viskositas tinggi dan sensitivitas terhadap pengendalian aliran.

Klasifikasi pompa lobe dapat dibagi menjadi dua kategori utama: pompa lobe putar dan pompa lobe gesek. Pompa lobe putar menggunakan pasangan lobus yang saling memutar secara kontinu tanpa kontak langsung, sedangkan pompa lobe gesek melibatkan lobus yang bersentuhan langsung dan bergesekan, menghasilkan sedikit celah di antara mereka.

Pompa lobe menemukan aplikasi luas dalam berbagai industri. Di sektor makanan dan minuman, pompa lobe sering digunakan untuk mentransfer cairan seperti sirup, saus, atau produk makanan lainnya yang memerlukan penanganan yang hati-hati.



Gambar 2. 5 Pompa Lobe

(Sumber : <https://vacuumpump.co.id/blog/jenis-rotary-vacuum-pump>)

2.1.2. Karakteristik Pompa

Karakteristik Pompa adalah parameter atau ciri khas yang menunjukkan kinerja pompa dalam mengalirkan fluida. Karakteristik ini mencakup berbagai

aspek yang penting untuk memahami cara kerja pompa dalam sistem fluida. Berikut adalah poin-poin utama:

1. Head (Ketinggian Energi Fluida)

Head adalah suatu bentuk energi yang dinyatakan dalam satuan panjang (m) dalam SI. Head terdiri dari head ketinggian (Z), head kecepatan ($\frac{v^2}{2g}$) dan head tekanan ($\frac{P}{\rho \cdot g}$). Head ketinggian menyatakan energi potensial yang dibutuhkan untuk mengangkat air setinggi (m) kolom air, head kecepatan menyatakan energi kinetik yang dibutuhkan untuk mengalirkan air setinggi (m) kolom air, sedangkan head tekanan adalah suatu energi aliran dari (m) kolom air yang memiliki berat sama dengan tekanan dari kolom (m) tersebut (Putro & Widodo, n.d.).

Hubungan antara tekanan dan head tekanan dapat dirumuskan seperti berikut:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- Hp = Head tekanan (m)
- P = Tekanan (Psi)
- ρ = Massa jenis air (kg/m³)
- g = Percepatan gravitasi (m/dt²)

2. Static Head

Static Head adalah perbedaan tinggi vertikal antara permukaan cairan pada sisi hisap (*suction*) dan sisi tekan (*discharge*) pompa dalam sistem fluida. *Static*

head hanya mencakup energi potensial yang terkait dengan ketinggian fluida, tanpa mempertimbangkan kecepatan aliran atau kehilangan energi akibat gesekan.

Komponen *static head* sebagai berikut :

a. *Static Suction Head*

Static Suction Head adalah jarak vertikal antara permukaan cairan di reservoir sumber (misalnya tangki atau sumur) dan sumbu horizontal pompa pada sisi isap ketika pompa terletak di bawah permukaan cairan. Ini adalah parameter penting dalam sistem pompa, karena memengaruhi kemampuan pompa untuk menarik cairan.

Rumus *Static Suction Head* (H_S) :

$$H_S = h_s - h_f \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

h_s : Ketinggian permukaan cairan dari sumbu pompa (m atau ft).

h_f : Kerugian akibat gesekan dalam pipa hisap (jika dihitung secara menyeluruh).

Komponen Utama *Static Suction Head* :

- 1) Tinggi vertikal antara permukaan fluida di tangki sumber (*suction*) dengan posisi pompa.
- 2) Jika pompa berada di atas permukaan cairan, ini disebut *suction lift*, dan nilai *static suction head* menjadi negatif.

b. *Static Discharge Head*

Static Discharge Head adalah jarak vertikal antara sumbu pompa dan titik tertinggi tempat cairan dibuang atau dikirim dalam sistem pompa. Ini

mencerminkan energi potensial yang diperlukan untuk mengangkat cairan ke ketinggian tertentu setelah melewati pompa.

Komponen Utama *Static Discharge Head* :

- 1) Ketinggian *Discharge*: Ketinggian vertikal dari sumbu pompa ke titik akhir pembuangan cairan.
- 2) Tanpa Memperhatikan Tekanan atau Kerugian Friksi: *Static Discharge Head* hanya memperhitungkan ketinggian vertikal, tanpa mengikutsertakan kerugian akibat gesekan di pipa atau fitting.

Rumus *Static Discharge Head* H_d :

$$H_d = h_d \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

h_d : Ketinggian vertikal dari sumbu pompa hingga titik keluaran (m atau ft).

c. *Static Total Head*

Static Total Head adalah jarak vertikal total antara permukaan cairan pada sisi hisap (*inlet*) dan titik tertinggi pada sisi pembuangan (*outlet*) dalam sistem pompa. Ini menggabungkan *static suction head* (atau *suction lift*) dan *static discharge head*

Komponen Utama *Static Total Head* :

- 1) *Static Suction Head/Lift*: Jarak vertikal antara permukaan cairan di sisi hisap dan sumbu pompa.
- 2) *Static Discharge Head*: Jarak vertikal antara sumbu pompa dan titik tertinggi di sisi pembuangan

d. *Dynamic Head*

Dynamic head atau dalam bahasa Indonesia disebut "kepala dinamis" adalah istilah dalam mekanika fluida dan teknik perpompaan yang menggambarkan total energi yang dimiliki oleh fluida dalam sistem perpipaan saat fluida bergerak.

Dynamic head mencakup beberapa komponen energi yang terlibat, antara lain sebagai berikut :

1) Head Tekanan (*Pressure Head*)

Energi yang berasal dari tekanan fluida, biasanya dihitung berdasarkan tekanan di dalam pipa.

$$h_p = \frac{P}{\gamma} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

P = tekanan fluida (Pa atau N/m²)

γ = berat jenis fluida (N/m³)

2) Head Kecepatan (*Velocity Head*)

Energi kinetik fluida karena pergerakannya.

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

v = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

3) Head Elevasi (*Elevation Head*)

Energi potensial fluida karena ketinggiannya dari suatu referensi tertentu.

$$h_z = z \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

z = ketinggian fluida (m)

Rumus Total *Dynamic Head*

Total *dynamic head* adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut:

$$H_{Total} = h_p + h_v + h_z \dots \dots \dots (2.7)$$

Dalam sistem perpipaan, total *dynamic head* juga dapat mencakup kerugian akibat gesekan dan hambatan di pipa:

$$H_{total} = h_p + h_v + h_z + h_{loss} \dots \dots \dots (2.8)$$

4) *Flow rate* (laju aliran)

Flow rate (laju aliran) adalah ukuran jumlah fluida yang mengalir melalui suatu penampang dalam satuan waktu. Laju aliran digunakan untuk menggambarkan seberapa cepat atau seberapa banyak fluida (baik cairan maupun gas) yang bergerak dalam sistem perpipaan atau saluran tertentu (Judid et al., n.d.).

Adapun Jenis – Jenis Laju Aliran Sebagai Berikut :

a) Laju Aliran Volumetrik (*Volumetric Flow Rate*)

Mengukur volume fluida yang mengalir per satuan waktu.

$$Q = A \cdot v \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

Q = laju aliran volumetrik (m³/s atau L/s)

A = luas penampang pipa (m²)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

b) Laju Aliran Massa (Mass Flow Rate)

Mengukur massa fluida yang mengalir per satuan waktu.

$$m = \rho \cdot Q \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

- m = laju aliran massa (kg/s)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- Q = laju aliran volumetrik (m³/s)

Satuan: Kilogram per detik (kg/s) atau ton per jam (t/h).

e. Faktor yang Mempengaruhi Laju Aliran

Faktor yang mempengaruhi laju aliran diantaranya: Diameter Pipa (laju aliran meningkat jika diameter pipa lebih besar, karena luas penampang pipa A lebih besar, selanjutnya adalah Kecepatan Fluida (laju aliran berbanding langsung dengan kecepatan aliran), dan Tekanan Sistem (tekanan tinggi cenderung meningkatkan laju aliran, tergantung pada resistansi dalam pipa).

2.1.3. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa adalah ukuran seberapa baik sebuah pompa mengubah energi input (energi dari motor atau sumber tenaga) menjadi energi output (energi yang digunakan untuk memindahkan fluida). Efisiensi pompa biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase, yang dihitung berdasarkan perbandingan antara daya hidraulik output dan daya input ke pompa (Mustakim, 2015).

Rumus efisiensi pompa adalah:

$$\eta = \frac{P_{hidraulik}}{P_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

P_{input} : Daya input adalah energi total yang diberikan ke pompa, yang biasanya diukur dari konsumsi daya listrik atau tenaga mekanis motor.

$P_{hidraulik}$: Daya hidraulik (dalam Watt atau HP) adalah energi yang ditransfer ke fluida untuk memindahkannya, dihitung dengan :

$$P_{hidraulik} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan: ρ : Densitas fluida (kg/m³).

g : Gravitasi (9,81 m/s²).

Q : Laju aliran (m³/s).

H : Head total (meter).

2.2. Konfigurasi Pompa

Konfigurasi pompa adalah pengaturan beberapa pompa dan dioperasikan dalam suatu sistem untuk mencapai suatu tujuan tertentu, seperti meningkatkan *head*, kapasitas aliran atau kombinasi keduanya, termasuk pengaturan dasar seperti apakah pompa bekerja secara tunggal atau ganda. Terdapat dua konfigurasi utama yang sering digunakan dalam sistem pipa bertekanan yaitu: seri dan parallel (Judid et al., n.d.).

2.2.1. Konfigurasi Seri

Dalam konfigurasi seri, dua atau lebih pompa dihubungkan secara berurutan, sehingga keluaran pompa pertama menjadi masukan untuk pompa berikutnya.

Karakteristik Utama:

- a. Head Total Bertambah:

Head dari masing-masing pompa dijumlahkan, sehingga menghasilkan tekanan yang lebih tinggi. Rumusnya:

$$H_{total} = H_1 + H_2 \dots \dots \dots (2.12)$$

di mana H_1 dan H_2 adalah head pompa pertama dan kedua.

b. Debit Tetap Konstan :

Laju aliran (Q) tetap sama seperti yang dihasilkan oleh satu pompa, karena aliran fluida hanya melewati satu jalur.

Konfigurasi ini sering digunakan dalam sistem yang membutuhkan tekanan tinggi, seperti:

- 1) Distribusi air ke gedung bertingkat.
- 2) Sistem pemompaan jarak jauh untuk melawan kehilangan tekanan akibat gesekan pipa.

Pada penelitian ini, konfigurasi seri digunakan untuk melihat bagaimana peningkatan tekanan (head) memengaruhi efisiensi pompa dan kinerja sistem. Dan bisa mengukur apakah kombinasi pompa dalam seri memberikan peningkatan tekanan yang signifikan dengan tetap mempertahankan efisiensi operasional.

2.2.2. Konfigurasi Paralel

Dalam konfigurasi paralel, dua atau lebih pompa dihubungkan sehingga masukan fluida berasal dari sumber yang sama, dan keluaran fluida digabungkan.

Karakteristik Utama:

a. Debit Total Bertambah:

Kapasitas aliran (Q) meningkat karena debit dari masing-masing pompa dijumlahkan. Rumusnya:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

di mana Q_1 dan Q_2 adalah debit masing-masing pompa

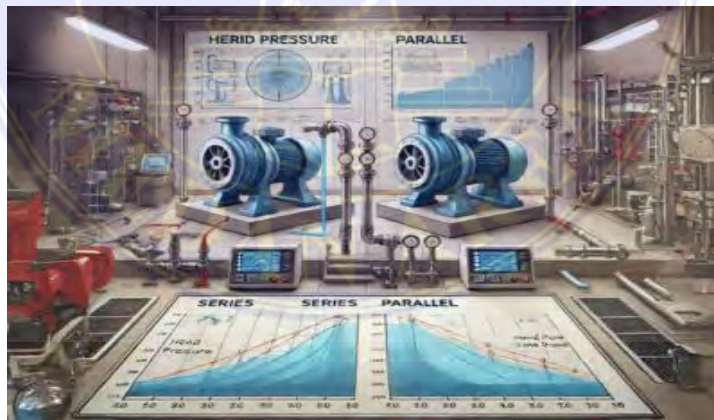
b. Head Tetap Konstan:

Tekanan atau head dari sistem tidak meningkat, karena pompa-pompa tersebut bekerja pada tingkat head yang sama.

Konfigurasi ini cocok untuk sistem yang membutuhkan kapasitas aliran besar, seperti:

- 1) Irigasi dengan kebutuhan debit tinggi.
- 2) Proses industri yang memerlukan pengaliran fluida dalam jumlah besar.

Penelitian ini dapat mengukur bagaimana peningkatan kapasitas aliran dalam konfigurasi paralel memengaruhi efisiensi pompa secara keseluruhan. Dan juga bisa menganalisis bagaimana distribusi aliran antara pompa memengaruhi kinerja sistem.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Konfigurasi Pompa Seri dan Paralel

(Sumber : <https://mesin.umsida.ac.id/wp-content/uploads/2024/12/2.png>)

2.3. Sistem Pipa Bertekanan

Sistem pipa bertekanan adalah jaringan pipa yang dirancang untuk mengalirkan fluida (cairan atau gas) dengan tekanan yang lebih tinggi dari

tekanan atmosfer. Tekanan dihasilkan oleh pompa, gravitasi, atau kombinasi keduanya untuk memenuhi kebutuhan tertentu, seperti distribusi air bersih, bahan kimia, atau cairan industri.



Gambar 2. 7 Ilustrasi sistem pipa bertekanan

(Sumber: <https://www.alvindocs.com/blog/mengulik-proses-instrumentasi-dalam-sistem-perpipaan>)

Berikut adalah ilustrasi sistem pipa bertekanan yang menunjukkan jaringan perpipaan dengan berbagai komponen seperti pipa, katup, pengukur tekanan, pompa, dan reservoir. Dalam Gambar 2.7 ini dilengkapi dengan panah aliran untuk menggambarkan arah pergerakan fluida serta anotasi yang menjelaskan fitur utama, seperti penurunan tekanan, laju aliran, dan titik koneksi. Ilustrasi ini dirancang untuk membantu memahami dinamika fluida dalam sistem bertekanan.

2.3.1. *Head Loss* pada Sistem Pipa Bertekanan

Head Loss adalah hilangnya energi dalam fluida yang mengalir melalui pipa dan sistem terkait akibat gesekan dan hambatan lainnya. Ini mengurangi tekanan dan dapat memengaruhi kinerja pompa dan sistem secara keseluruhan

(Malik Amrullah Abu Bakar et al., 2023). *Head loss* terbagi menjadi dua kategori utama: *major losses* dan *minor losses*.

a. Major Losses (Kehilangan Utama)

Major losses terjadi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa selama aliran. Gesekan ini menghasilkan pengurangan energi atau tekanan sepanjang pipa. Besar kehilangan utama tergantung pada panjang pipa, diameter, kecepatan aliran,.

Rumus utama untuk menghitung major loss adalah dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach :

$$H_{loss, major} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

- f = Faktor gesekan,
- L = Panjang pipa (m).
- D = Diameter pipa (m).
- v = Kecepatan fluida (m/s).
- g = Percepatan gravitasi (m/s²).

Faktor gesekan *f* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Colebrook* atau diagram *Moody*.

Pengaruh *Major Losses*:

- 1) Panjang Pipa: Semakin panjang pipa, semakin besar head loss yang terjadi.
- 2) Diameter Pipa: Semakin kecil diameter pipa, semakin besar head loss karena peningkatan kecepatan fluida.
- 3) Kecepatan Fluida: Semakin tinggi kecepatan, semakin besar head loss, terutama pada aliran turbulen.

b. *Minor Losses* (Kehilangan *Minor*)

Minor losses terjadi akibat perubahan arah aliran fluida, seperti pada sambungan pipa (*elbow, tee*), katup, dan perubahan diameter pipa. Meskipun kehilangan ini lebih kecil daripada *major losses*, mereka tetap signifikan dalam sistem pipa yang kompleks.

Rumus untuk minor losses:

$$H_{loss, major} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

- K = Koefisien kehilangan minor, yang bergantung pada jenis fitting atau katup.
- v = Kecepatan fluida (m/s).

Jenis fitting yang menyebabkan minor losses meliputi:

- 1) *Elbow* (Patah Sudut): Menyebabkan perubahan arah aliran fluida.
- 2) *Tee* dan *Cross*: Mengubah distribusi aliran dan mempengaruhi tekanan.
- 3) Katup: Membatasi aliran, menyebabkan turunnya tekanan.

Pengaruh Minor Losses:

- 1) Jenis Fitting: Sudut pada elbow, tipe katup, dan material pipa mempengaruhi nilai K.
- 2) Kecepatan Aliran: Kehilangan minor semakin besar pada kecepatan tinggi.

Major losses dan *minor losses* keduanya mempengaruhi kinerja sistem pipa bertekanan. *Major losses* lebih dominan pada pipa panjang dengan diameter kecil, sedangkan *minor losses* terjadi akibat perubahan bentuk dan arah aliran.

Memahami keduanya penting dalam merancang sistem pipa yang efisien dan memilih pompa yang tepat untuk aplikasi tertentu.

2.4. Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli merupakan prinsip dasar dalam fluida dinamis yang menyatakan bahwa pada aliran fluida yang stabil, tekanan statis, kecepatan, dan energi potensial gravitasi pada setiap titik dalam aliran tersebut akan saling terkait. Konsep hukum Bernoulli dikenalkan oleh ilmuwan kelahiran Belanda yaitu Daniel Bernoulli. Daniel Bernoulli lahir di Belanda lalu menuntut ilmu di Italia dan menetap di Swiss. Ayah Daniel Bernoulli seorang pengembang ilmu kalkulus dan pamannya pertama kali menemukan teori probabilitas. “Hydrodynamica” adalah karya masyhur dari Daniel Bernoulli yang menjelaskan tentang dinamika fluida, atau tentang bagaimana cairan berperilaku ketika mereka sedang bergerak. Hukum Bernoulli adalah prinsip dasar dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada aliran fluida yang stabil, tekanan fluida akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran. Akibatnya, tekanan udara disekitarnya lebih kecil. Udara bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat udara yang bertekanan rendah (Amalia Putri Utami et al., 2024). Secara matematis, hukum Bernoulli dapat dinyatakan sebagai:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

- P = Tekanan fluida
- ρ = Massa jenis fluida

v = Kecepatan aliran fluida

g = Percepatan gravitasi

h = Tinggi fluida

Hukum ini berlaku untuk aliran fluida ideal (tanpa gesekan) dan aliran tunak (steady flow). Jika tidak kehilangan energi, contohnya gesekan, jumlah $P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh$ akan tetap konstan dalam aliran fluida yang stabil. Artinya, jika satu komponen meningkat, misalnya kecepatan,



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Tempat

Adapun alat yang akan digunakan sebagai bahan penelitian tugas akhir dibuat dan dirakit di Bengkel Arya, yang berlokasi di Jl. Mangan VIII Ps. III Bantenan Ujung, Sampali, Kec. Percut Sei Tuan, Kota Medan, Sumatera Utara 20242. Selanjutnya setelah selesai dibuat, alat tersebut di kirim ke Laboratorium Teknik Kampus Universitas Medan Area (UMA). Untuk pengambilan data penelitian sesuai judul Tugas Akhir Studi Eksperimental Kinerja Pompa Dengan Konfigurasi Seri Dan Paralel Pada Sistem Pipa Bertekanan dilaksanakan di Laboratoirun Teknik Universitas Medan Area yang berlokasi di Jl. H. Agus Salim Siregar, Kenangan Baru, Kec. Medan Tembung, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20223, Indonesia, mulai tanggal 12 Mei 2025 sampai dengan 04 Juni 2025.

3.1.2. Waktu

Adapun waktu dan penelitian yang sejak tanggal di keluarkannya Surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1. sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	Tahun 2025									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pengajuan Judul	■									
Penulisan Proposal	■	■								
Seminar Proposal		■	■							
Proses Penelitian			■	■	■	■				
Pengolahan Data Penyelesaian Laporan					■	■	■			
Seminar Hasil							■	■		
Evaluasi dan persiapan Sidang								■	■	■
Sidang Sarjana										■

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan

Pada proses penelitian ini digunakan beberapa bahan uji yang dijabarkan sebagai berikut :

1. Pipa

Pipa yang digunakan dalam instalasi ini adalah pipa dari bahan Polyvinyl Chloride (PVC), yang berperan sebagai saluran utama untuk mengalirkan fluida atau cairan. Pemilihan pipa PVC didasarkan pada keunggulannya, seperti ketahanan terhadap korosi, bobot yang ringan, serta kemudahan dalam pemasangan. Tipe pipa PVC yang digunakan dalam sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1. Pipa PVC

2. Sambungan

Sambungan ini memiliki fungsi penting sebagai penghubung antar pipa, yang memungkinkan penyesuaian dan penyusunan konfigurasi instalasi sesuai dengan kebutuhan teknis dan desain sistem. Dengan adanya komponen ini, fleksibilitas dalam pemasangan pipa dapat ditingkatkan sehingga instalasi dapat berjalan secara efisien dan optimal



Gambar 3. 2. Sambungan

3. Elbow

Elbow berperan sebagai penghubung antara dua pipa sekaligus mengalihkan arah aliran fluida dalam suatu sistem. Gambar 3.3 memperlihatkan elbow PVC dengan sudut 90° yang digunakan dalam instalasi ini.



Gambar 3. 3 Elbow 90°

4. Globe valve (Katup)

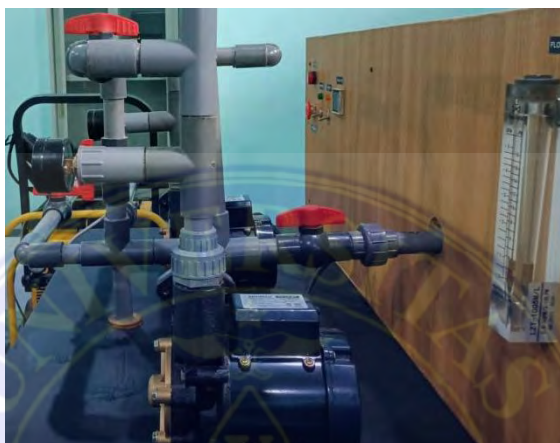
Untuk mengatur aliran dalam sistem dan mengarahkan aliran ke konfigurasi seri atau paralel.



Gambar 3. 4 *Globe Valve* (Katup)

5. Pompa Sentrifugal

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



Gambar 3. 5 Pompa Sentrifugal (Katup)

Adapun spesifikasi pompa Shimizu PS-116 BIT yang digunakan adalah:

Tabel 3. 2 Spesifikasi pompa sentrifugal

Parameter	Spesifikasi
Tegangan (V)	: 1 x 220 V ~ 50 Hz
Daya (P)	: 290 W
Arus (I)	: 1,3 A
Putaran (n)	: 2900 rpm (min ⁻¹)
Perlindungan	: IPX4
<i>Head Suction Max (Hs)</i>	: 9 m (<i>Suction</i>)
<i>Head Discharge Max (Hd)</i>	: 28 m (<i>Discharge</i>)
Kapasitas Aliran (Q)	: 10 - 24 ltr/menit
Kapasitas Max	: 34 ltr/menit
Diameter Pipa	: 25,4 mm (1 inch)



Gambar 3. 6 Grafik performa pompa Shimizu PS-116 BIT

(Sumber: <https://shimizu.co.id/product/sumur-dangkal/non-auto/ps-116-bit-2/>)

3.2.2. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Flow Meter*

Untuk mengukur laju aliran pada sistem. Flow meter dipasang pada titik masukan dan keluaran fluida dalam pipa untuk memperoleh data aliran pada konfigurasi seri dan paralel. Flow meter yang digunakan dalam penelitian ini harus melewati proses kalibrasi untuk memastikan keakuratan hasil pengukuran laju aliran fluida. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran *flow meter* dengan alat ukur standar yang telah terverifikasi (*traceable to national standards*). Hal ini penting untuk mengurangi kesalahan pengukuran yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen.



Gambar 3. 7 Gelas Ukur

Tabel 3.3 Spesifikasi Gelas Ukur

Parameter	Spesifikasi
Jenis Material	: Plastik
Volume	: 1000 ml

2. *Pressure Gauge*

Untuk mengukur tekanan di beberapa titik sepanjang sistem pipa. Pengukur tekanan dipasang pada titik-titik masuk dan keluar pompa serta di titik peralihan konfigurasi. Pressure gauge perlu dikalibrasi untuk memastikan keakuratan pembacaan tekanan pada sistem pipa. Proses ini melibatkan pengujian terhadap alat ukur tekanan menggunakan standar tekanan yang terkalibrasi. Validasi ini memastikan bahwa data tekanan yang diperoleh selama eksperimen mencerminkan kondisi aktual sistem.



Gambar 3. 8 Pressure Gauge

Tabel 3.4 Spesifikasi Pressure Gauge

Parameter	Spesifikasi
Merek	: JP Pump Parts
Skala pengukuran	: (0-100 PSI), (0-7 Bar)
Jenis	: Pressure Gauge (alat pengukur tekanan)
Akurasi	: $\pm 1,6\%$ dari skala penuh (sesuai standar EN 837-1)

3. Power Meter

Untuk mengukur konsumsi daya listrik pompa. Data ini digunakan untuk menghitung efisiensi energi pada masing-masing konfigurasi.



Gambar 3. 9 Power Meter

3.3. Metode Penelitian

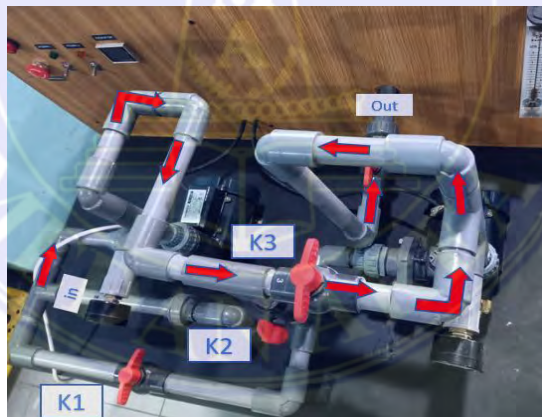
Penelitian ini akan menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis kinerja pompa dalam konfigurasi seri dan paralel.

3.3.1. Rancangan Eksperimen

Pengujian terdiri dari susunan pompa secara seri dan paralel. Instalasi dari tiap rangkaian adalah sama, namun yang membedakan adalah pengaturan katup yang terbuka dan yang tertutup sesuai konfigurasi yang diinginkan pada rangkaian.

1. Pompa disusun secara tunggal

Gambar 3.10 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 K1 dibuka, dan katup K2 serta K3 ditutup.

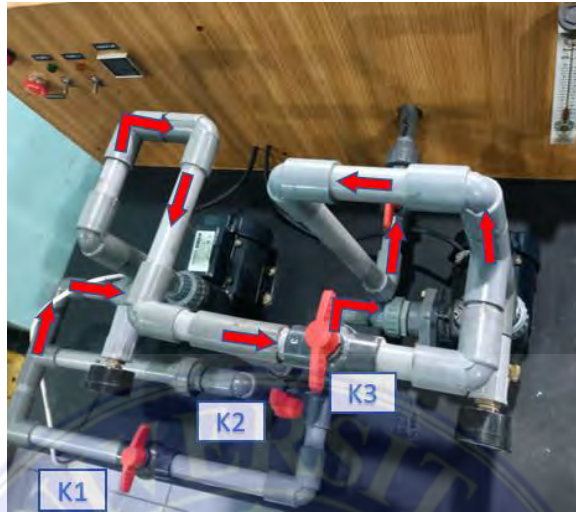


Gambar 3. 10 Susunan pompa instalasi tunggal

2. Pompa disusun secara seri

Pada gambar 3.11 ditampilkan susunan pompa dengan konfigurasi seri. Dalam konfigurasi ini, fluida hasil keluaran dari pompa pertama (P1) akan dialirkan melalui pipa menuju inlet pompa kedua (P2) untuk selanjutnya didorong

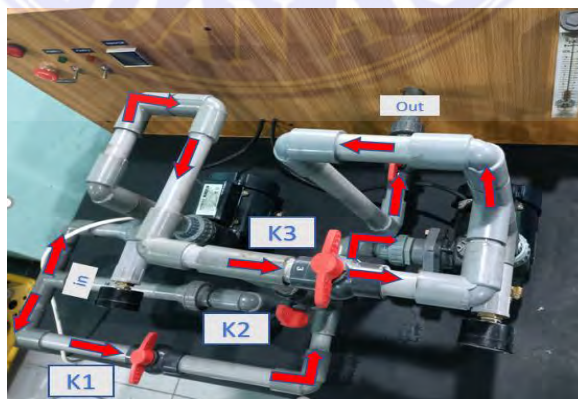
ke pipa keluaran (outlet). Untuk mendapatkan aliran sistem seri ini, katup K2 dibiarkan terbuka, sementara katup K1 dan K3 ditutup penuh.



Gambar 3. 11 Susunan instalasi pompa seri

3. Pompa disusun secara paralel

Gambar 3.12 menunjukkan konfigurasi pompa yang disusun secara paralel. Dalam sistem ini, kedua pompa (P1 dan P2) dioperasikan secara serentak untuk mengalirkan fluida. Untuk memastikan aliran sistem paralel berfungsi optimal, katup K2 diposisikan tertutup, sedangkan katup K1 dan K3 dibuka penuh

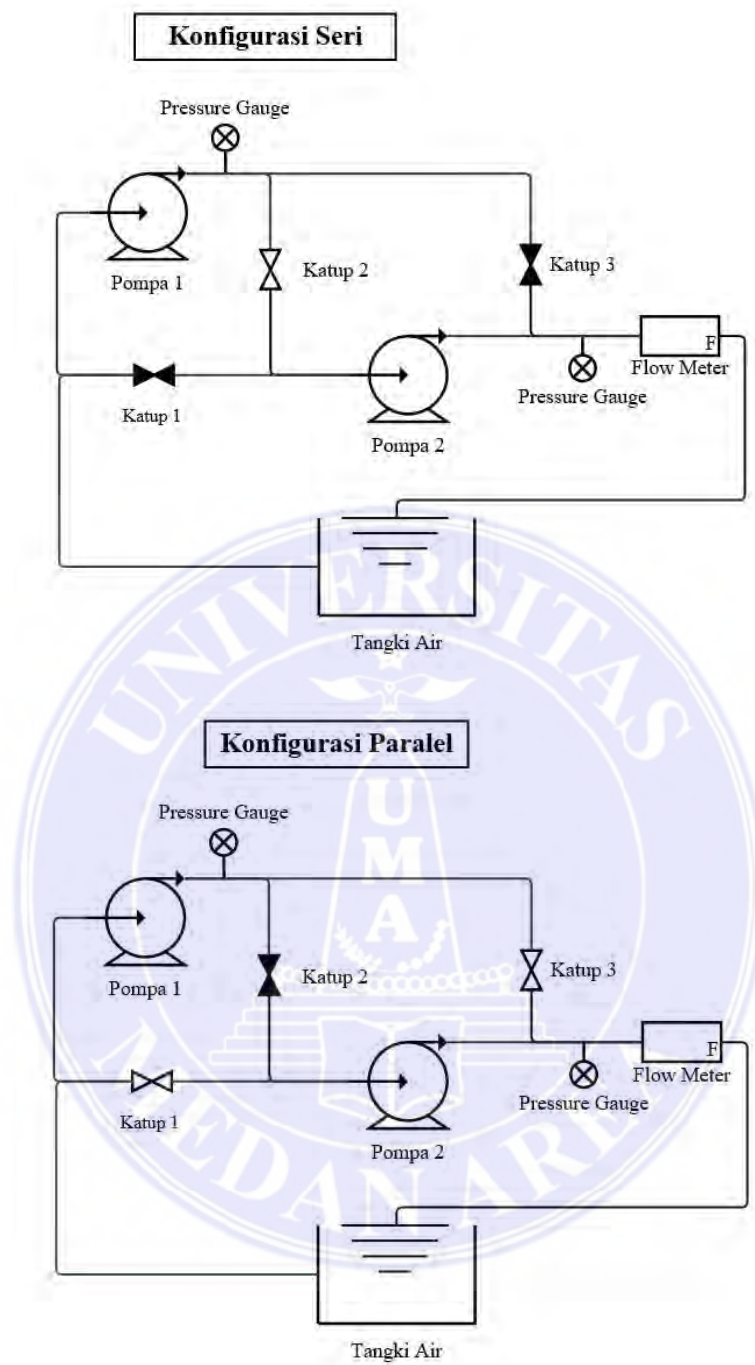


Gambar 3.12 Susunan instalasi pompa paralel

3.4. Prosedur Kerja

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

1. Isi tangki penampung dengan air bersih hingga mencapai batas yang telah ditentukan.
2. Buka katup K3, kemudian tutup katup K1 dan K2 sesuai dengan ilustrasi pada gambar 3.9.
3. Atur katup K3 agar terbuka penuh (*fully open*) dan K1 dan K2 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 3.10 dan set 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 3.11 dan set bukaan katup 100%, 75%, 50% dan 25%.
9. Setelah semua proses selesai, simpan tabel data dalam bentuk dokumen.



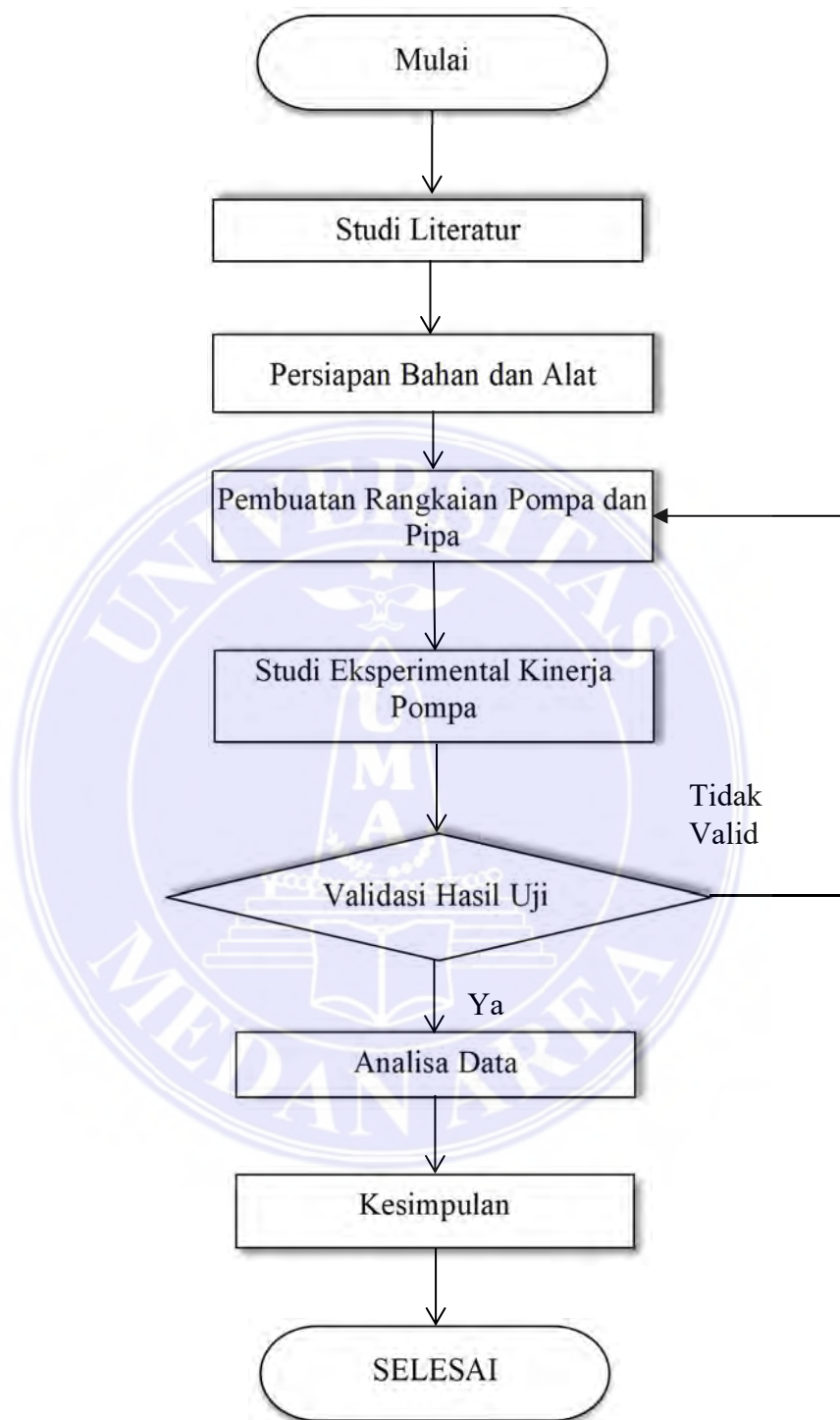
Gambar 3.13 Kofigurasi pompa seri dan paralel

3.5. Populasi dan Sampel

Tabel 3.5 Populasi dan Sampel

Kategori	Populasi	Sampel
Jenis Pompa	Semua jenis pompa sentrifugal yang digunakan dalam sistem pipa bertekanan.	2-3 pompa sentrifugal dengan daya dan kapasitas aliran yang serupa.
Sistem Pipa Bertekanan	Semua jenis sistem pipa bertekanan yang digunakan untuk menyalurkan aliran pompa.	1-2 jenis pipa dengan diameter dan panjang yang serupa untuk memastikan keseragaman.
Konfigurasi Pompa	Semua sistem pompa yang dioperasikan dalam konfigurasi seri dan paralel.	Dua pengaturan utama: satu konfigurasi seri dan satu konfigurasi paralel.
Pengulangan Eksperimen	Semua eksperimen yang menguji kinerja pompa dalam konfigurasi seri dan paralel.	Setiap eksperimen diuji 3-5 kali untuk memastikan konsistensi hasil.

3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 14 Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis mendalam serta perbandingan kinerja pompa yang diterapkan dalam konfigurasi seri dan paralel, dapat diidentifikasi dua poin utama yang menjadi kesimpulan penting dalam penelitian ini

1. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan, konfigurasi pompa yang dirangkai secara paralel menunjukkan nilai head maksimum yang lebih tinggi pada setiap tingkat bukaan katup dibandingkan dengan konfigurasi seri. Sebagai ilustrasi, pada bukaan katup penuh (100%), head maksimum yang dicapai oleh konfigurasi seri dan paralel adalah sama sebesar 26,0 meter, sedangkan pada bukaan 25%, 50% dan 75% konfigurasi paralel nilai headnya lebih besar. Untuk debit maksimum yang dihasilkan oleh konfigurasi seri dan paralel juga sama, yakni sebesar 0,0005 m³/s pada bukaan katup 100%, sedangkan pada bukaan 25%, 50% dan 75% konfigurasi paralel debitnya lebih besar dibandingkan dengan debit pada konfigurasi seri.
2. Efisiensi tertinggi pada konfigurasi pompa seri diperoleh pada bukaan katup 100%, yaitu sebesar 33,5%. Sebaliknya, efisiensi maksimum pada konfigurasi paralel terjadi pada bukaan katup 75% tetapi dengan nilai yang lebih rendah, yaitu sebesar 29,9% dan pada bukaan katup 50% efisiensi diperoleh 28,2%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi pompa dapat pada konfigurasi seri dengan katup bukaan penuh

100% dibandingkan dengan konfigurasi paralel pada bukaan katup penuh (100%).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis mendalam terhadap kinerja pompa dalam konfigurasi seri dan paralel yang telah dilakukan, berikut disampaikan beberapa rekomendasi yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya di bidang sistem pompa dan perpipaan.

1. Penelitian berikutnya dianjurkan untuk melibatkan berbagai tipe pompa guna memperoleh analisis yang lebih menyeluruh mengenai pengaruhnya terhadap performa konfigurasi pompa seri dan paralel.
2. Disarankan pula untuk melakukan pengujian dengan variasi temperatur atau menggunakan jenis fluida lain selain air agar hasil penelitian lebih mencerminkan kondisi operasional yang sebenarnya.
3. Evaluasi kinerja pompa pada sistem perpipaan dengan panjang yang lebih signifikan atau pada sistem bercabang perlu dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam terkait dampak kehilangan tekanan dan distribusi aliran dalam sistem.
4. Penerapan sistem kontrol otomatis terhadap bukaan katup dapat menjadi arah penelitian lanjutan yang menjanjikan untuk optimalisasi efisiensi energi pada sistem pompa. Dengan kontrol otomatis, pengaturan bukaan katup dapat dilakukan secara dinamis sesuai kebutuhan operasional, sehingga meningkatkan performa dan mengurangi konsumsi energi.

5. Penggunaan Inverter atau Variable Frequency Drive (VFD) yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan motor listrik dengan menyesuaikan frekuensi dan tegangan catu daya listriknya, sehingga memungkinkan mengoperasikan motor/pompa pada kecepatan yang dibutuhkan secara efisien dan lebih halus untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih akurat dibandingkan dengan pengaturan bukaan valve.



DAFTAR PUSTAKA

- H. Alkindi, H. Santosa, and E. S. (2023). Analisis Head Losses Pada Circulating Fluida Air Dalam Dua Jenis Pipa. *Tek. Mesin*, 9, 51–56.
- Muhammad, Z. H. (2020). Analisa Head Pompa Water Intake Terhadap Self Cleaning Filter Pada PT.XY. *Tek. Mesin*, 8.
- Rasyid, M. A. (2022). *Analisis Pengaruh Tinggi Hisap Pompa Sentrifugal Terhadap Kapasitas*.
- Yani, A. M. and A. (2018). Analisa Head Mayor Dan Minor Pompa Chiller Dengan Bukan Katup Instalasi Pompa Tunggal. *Jurnal Sains Ter*, 4, 63–69.
- Adhari, Y. R., Akhyan, A., Mesin, T., & Riau, C. (2022). *Studi Eksperimental Pengaruh Kinerja Pompa Sentrifugal Seri Dan Paralel Menggunakan Fluida Crude Palm Oil (Non Newtonian)*. 17–19.
www.bps.go.id/publication/2019/11/22/f9ad9da6bac600960802c85f/direktori-perusahaan-perkebunan-kelapa-sawit-
- Amalia Putri Utami, A., Puji Tria Agustin, B., Nur Aulia Hidayah, F., Ula Adabiyah, S., & Negeri Surabaya, U. (2024). ANALISIS TEKANAN PADA CEROBONG ASAP MENGGUNAKAN PRINSIP HUKUM BERNOULLI. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 4(1), 495–500.
<https://doi.org/10.52562/biochephy.v4i1.1196>
- Helmizar, E. S. A. N. (2019). KARAKTERISTIK ALIRAN PADA SUSUNAN POMPA YANG BERBEDA HEAD SECARA SERI DAN PARALEL. *Rekayasa Mekanik*, 3 No. 1.
- Judid, G., Maulidi, R., Rusydi, G., & Syahrillah, F. (n.d.). *ANALISA RE-DESIGN KONFIGURASI POMPA BAWAH PERMUKAAN TIPE SUCKER ROD PUMP (SRP) PADA SUMUR MIGAS DALAM UPAYA MENINGKATKAN EFISIENSI VOLUMETRIC DI PT. PERTAMINA EP ASSET 3 SUBANG FIELD*.
- Malik Amrullah Abu Bakar, A., Musa, R., & Sar, ud. (2023). *Jurnal Teslink: Teknik Sipil dan Lingkungan Evaluasi Kinerja Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Menggunakan Aplikasi Epanet (Studi Kasus Perumnas Wekkee Kota Pare-Pare)*. 5(2), 21–34. <https://doi.org/10.52005/teslink.v1i5i1.xxx>
- Mustakim. (2015). PENGARUH KECEPATAN SUDUT TERHADAP EFISIENSI POMPA SENTRIFUGAL JENIS TUNGGAL. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 4(2).
- Thoharudin, Arif., S.N, Stefanus. “Optimasi Tinggi Tekan dan Efisiensi Pompa Sentrifugal dengan Perubahan Jumlah Sudu Impeler Sudut Sudu Keluar Impeler (β_2) Menggunakan Simulasi Computational Fluida Dynamics,”Proseding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST), Yogyakarta, 2014.

- Sularso, Haruo Tahara ,“Pompa dan Kompresor”, Pradnya Paramita, Jakarta. Cetakan Ketujuh, 2000
- Putro, E. P., & Widodo, E. (n.d.). *ANALISIS HEAD POMPA SENTRIFUGAL PADA RANGKAIAN SERI DAN PARALEL*.
- Rachmat Subagio, Muchsin, Rezeky Aulia,”Analisis Karakteristik Pompa Sentrifugal Dengan Sistem Seri dan Paralel,” *Jurnal Teknologi Technoscintia*, vol.5, no. 2, pp. 1-21, 2013.
- Syahrizal Daud Perdana, (2018) *Kajian Eksperimen Instalasi Pompa Seri Dan Paralel Terhadap Efisiensi Penggunaan Energi*
- Wahyudi, D., & Haryono, S. (2011). *Uji Kinerja Pompa Sentrifugal Susunan Paralel terhadap Head dan Kapasitas. 1(1)*.
- Munthe, J.D., Lingga, J., Jufrzal, & Idris, M. (2025). Pengaruh Variasi Bukaannya Katup terhadap Kinerja Sistem pada Konfigurasi Pompa Seri dan Paralel. Vol. 4, No. 1, 2025, pp. 105-119, e-ISSN: 2962-4290.
- Ginting, H., Lingga, J., Jufrizal, Hermawan, I. (2025). Identifikasi Jenis Aliran Pada Sistem Pipa Bertekanan Dengan Pompa Seri Dan Paralel. Vol. 4, No. 1, 2025, pp. 95-104, e-ISSN: 2962-4290