

**ANALISIS EFISIENSI TOTAL PADA INSTALASI POMPA DENGAN VARIASI
BUKAAN KATUP DAN DIAMETER PIPA ISAP**



ARNOLDUS DAENG SIBALI

D021 21 1079



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pompa adalah sebuah mesin yang berperan sebagai perantara aliran zat cair. Berbagai jenis zat cair, seperti air, oli, hingga fluida lainnya yang tidak dapat dimampatkan, dapat dipindahkan dengan mudah menggunakan alat ini. Dalam dunia industri, pompa menjadi salah satu elemen penting dalam proses produksi. Contohnya, pada pembangkit listrik tenaga uap, pompa membantu suplai air umpan ke boiler dan melancarkan sirkulasi air yang akan diuapkan. Keberadaan pompa pun tak kalah penting dalam sektor lain, seperti pertanian, pengolahan air, dan industri petrokimia (Putra, 2018).

Pompa berfungsi untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan metode menaikkan tekanan cairan tersebut, dengan menggunakan pipa yang panjang dan terhubung dengan sebuah pompa. Pompa dapat menaikkan cairan dari sumbernya dan mengalirkannya ke tempat yang telah ditentukan (Efendi Adhan, 2021).

Pompa juga bekerja dengan memanfaatkan energi mekanis untuk mendorong zat cair melalui sistem perpipaan. Beragam jenis pompa tersedia, dengan desain dan mekanisme yang berbeda-beda, disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi pengaplikasiannya. Masing-masing jenis pompa memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri, sehingga pemilihan pompa yang tepat menjadi kunci optimalnya proses pemindahan zat cair. Dengan memahami peran dan cara kerja pompa, kita dapat semakin menghargai peran vitalnya dalam berbagai sektor industri dan kehidupan sehari-hari. Pompa, meskipun terkesan sederhana, merupakan bagian tak terpisahkan dari kemajuan teknologi dan peradaban manusia (Putra, 2018).

Untuk meningkatkan kinerja pompa, hal yang juga harus diperhatikan adalah efisiensinya. Efisiensi adalah parameter krusial dalam perencanaan pompa karena berkaitan dengan penggunaan energi. Sederhananya, efisiensi pompa menunjukkan perbandingan antara daya yang diberikan motor listrik kepada pompa dengan daya yang kemudian disalurkan pompa kepada fluida (Syahrizal Iman dan Perdana Daud, 2019).

Efisiensi pompa, yang diukur dalam persen (%), merupakan indikator kinerja pompa. Indikator ini menunjukkan perbandingan antara energi yang diperoleh dari air (daya air) dengan energi yang berasal dari motor pompa atau penggerak pompa (daya motor). Dengan kata lain, efisiensi pompa menunjukkan seberapa efektif pompa dalam mengubah energi mekanik dari motor menjadi energi fluida pada air. Semakin tinggi nilai efisiensi, semakin baik kinerja pompa dalam memanfaatkan energi. Nilai efisiensi pompa idealnya berada di atas 70%. Pompa dengan efisiensi rendah dapat menyebabkan pemborosan energi dan biaya operasi yang lebih tinggi (Puspawan A dan Leonanda Benny D, 2022).

Pada penelitian sebelumnya dengan judul "Comparative Analysis of the Head Loss of Two Centrifugal Pumps in a Fluid Test Laboratory" dari Edi Widodo dan

Iswanto melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik dari kedua pompa sentrifugal menggunakan rangkaian yang sama serta memperoleh nilai yang dihasilkan yaitu head, debit, daya pompa, efisiensi dari kedua pompa. Dan variasi pengaturan bukaan katup yang dipakai adalah bukaan katup penuh, bukaan katup 2/3, dan bukaan katup 1/3 yang mempunyai koefisien yang berbeada pada tiap bukaan katupnya. Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan fluida yang digunakan adalah air. Hasil dari penelitian alat uji pompa sentrifugal ini diketahui bahwa pompa yang bekerja menunjukkan bahwa debit yang dihasilkan mempengaruhi nilai head, daya pompa, dan efisiensi pompa yang diperoleh, semakin tinggi nilai *head* total maka debit yang dihasilkan semakin kecil. Namun alat uji pompa sentrifugal ini dapat digunakan untuk kegiatan praktikum tentang fluida di jurusan teknik mesin di laboratorium mesin (Anam & Widodo, 2020).

(Saksono Puji, 2011), melakukan penelitian tentang analisis efisiensi pompa *centrifugal* pada instalasi pengolahan air kampung Damai Balikpapan. Penelitian ini dilakukan untuk menilai besarnya penurunan efisiensi pada empat pompa yang terhubung secara paralel, dengan tujuan menemukan solusi efektif untuk mengurangi biaya operasional yang tinggi karena penuaan pompa distribusi yang telah lama digunakan. Hasil penelitian menunjukkan variasi penurunan efisiensi antara berbagai merek pompa, dengan penurunan sebesar 0,17 per tahun untuk pompa nomor 1, 2, dan 3, serta penurunan sebesar 1,24 per tahun untuk pompa nomor 4.

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh diameter pipa isap terhadap debit aliran dan *head loss* pada instalasi pompa dengan variasi bukaan katup dan diameter pipa isap, dan menganalisis hubungan antara bukaan katup dan diameter pipa isap terhadap efisiensi. Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian tugas akhir dengan judul **“Analisis Efisiensi Total Pada Instalasi Pompa Dengan Variasi Bukaan Katup dan Diameter Pipa Isap”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh diameter pipa isap terhadap debit aliran dan *head loss* pada instalasi pompa dengan variasi bukaan katup dan diameter pipa isap?
2. Bagaimana hubungan antara bukaan katup dan diameter pipa isap terhadap efisiensi total?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh diameter pipa isap terhadap debit aliran dan *head loss* pada instalasi pompa dengan variasi bukaan katup dan diameter pipa isap
2. Menganalisis hubungan antara bukaan katup dan diameter pipa isap terhadap efisiensi total

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Tidak memperhitungkan temperatur fluida kerja
2. Variasi bukaan katub yang digunakan 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%
3. Variasi diameter pipa isap yang digunakan 1/2", 3/4" , 1", 1 ¼ " , dan 1 ½"
4. Jenis pipa yang digunakan adalah pipa PVC

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Universitas Hasanuddin
2. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian mengenai efisiensi pompa di Departemen Teknik Mesin

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

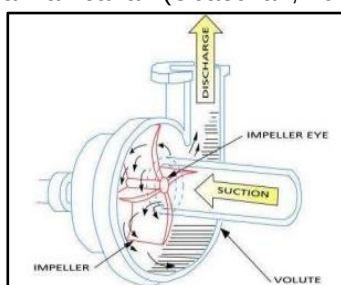
2.1 Pengertian Pompa

Pompa merupakan alat mekanik yang digerakkan oleh sumber tenaga untuk memindahkan cairan (fluida) dari satu tempat ke tempat lain. Cairan hanya mengalir jika terdapat perbedaan tekanan. Pompa tidak hanya berfungsi untuk memindahkan cairan, tetapi juga untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, dan ketinggian cairan. Pompa bekerja dengan membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap (suction) dan bagian tekan (discharge). Perbedaan tekanan ini dihasilkan oleh mekanisme seperti putaran roda impeler, yang membuat sisi hisap nyaris vakum. Perbedaan tekanan ini mengisap cairan dan memindahkannya dari satu reservoir ke tempat lain.

Pompa memiliki banyak manfaat dalam berbagai industri dan aplikasi. Contohnya, pompa membantu mendistribusikan air ke area pertanian (sistem irigasi), membantu proses penyaringan, pemurnian, dan pendistribusian air minum (pengolahan air), memindahkan minyak mentah dan bahan bakar melalui pipa (industri petrokimia), mendinginkan peralatan dan mengoperasikan sistem hidrolik (pembangkit listrik), dan memindahkan air limbah ke tempat pengolahan (sistem pembuangan air limbah). Berbagai jenis pompa tersedia dengan karakteristik dan kemampuan yang berbeda-beda. Pemilihan pompa yang tepat tergantung pada jenis fluida, viskositas, laju aliran, dan ketinggian yang ingin dicapai. Memahami fungsi dan jenis-jenis pompa sangat penting untuk memilih alat yang tepat dan optimal untuk kebutuhan dan aplikasi yang spesifik (Fatkhurrohman, 2017).

2.2 Pompa Sentrifugal (*Centrifugal Pump*)

Pompa Sentrifugal adalah jenis pompa yang tidak menggunakan perpindahan positif dan mengandalkan gaya sentrifugal untuk menciptakan tekanan yang diperlukan dalam memindahkan cairan (Ubaedilah, 2016).



Gambar 1. Pompa Sentrifugal (Ubaedilah, 2016)

Pompa sentrifugal dirancang sedemikian rupa sehingga aliran cairan yang meninggalkan impeller akan melewati sebuah bidang yang tegak lurus terhadap sumbu pompa.

Pada prinsip dasarnya, cara kerja pompa sentrifugal adalah menciptakan tekanan rendah di bagian isap untuk menarik fluida masuk ke dalamnya, kemudian mendorongnya keluar dari sisi tekanan atau sisi keluar dengan tekanan yang lebih

tinggi daripada tekanan isap, semua ini dilakukan dengan menggunakan komponen penggerak seperti impeller, plunger, atau piston. Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa pemindah nonpositif yang mengubah energi kinetis cairan menjadi energi potensial melalui impeller yang berputar dalam casing pompa. Sistem pemeliharaan pompa sentrifugal terbagi menjadi tiga jenis, yaitu: pemeliharaan rutin, pemeliharaan prediktif, dan pemeliharaan preventif (Yahya & Mulyadi, 2024)

2.3 Spesifikasi Pompa

Sebelum memilih pompa untuk tujuan tertentu, penting untuk mengetahui kapasitas aliran dan head yang dibutuhkan untuk mengalirkan cairan yang akan dipompa. Selain itu, untuk mencegah kavitasi dan memastikan kinerja pompa yang optimal, perlu diperkirakan tekanan minimum yang tersedia di sisi masuk pompa pada instalasinya. Berdasarkan tekanan hisap ini, putaran pompa dapat ditentukan.

Kapasitas aliran, *head*, dan putaran pompa dapat dihitung seperti yang dijelaskan sebelumnya. Namun, jika ada perubahan signifikan dalam kondisi operasi, terutama dalam kapasitas dan *head*, pemilihan putaran dan ukuran pompa harus disesuaikan dengan perubahan tersebut. Selanjutnya, untuk menentukan jenis penggerak yang tepat, perlu dilakukan penyelidikan tentang jenis sumber energi yang tersedia di lokasi yang bersangkutan (Haruo Tahara dan Sularso, 1983).

Karakteristik dari pompa meliputi keterkaitannya dengan tingkat tekanan, kapasitas, daya, dan efisiensi. Hilangnya head terjadi karena adanya tikungan pada pipa, dimana semakin banyak tikungan akan meningkatkan kehilangan head. Ketinggian tekanan dijelaskan sebagai hasil dari kerugian gesekan mayor dan minor serta perubahan jalur perpipaan. Memahami konsekuensi dari kerugian dalam penggunaan pompa dan perpipaan dapat mengurangi kehilangan energi dari sistem perpipaan yang digunakan (Ansori & Widodo, 2018).

2.4 Head Instalasi Pompa

Head pompa merupakan Energi yang diberikan oleh pompa per unit massa fluida membuat fluida dapat mengalir dari hisap ke keluaran. *Head* pompa terdiri dari:

2.4.1 Head Statis

Head Statis. Yang dimana terdiri dari:

- a. *Pressure Head*: Energi yang dimiliki oleh fluida karena perbedaan tekanan antara *reservoir* hisap dan *reservoir* keluaran Energi yang dimiliki oleh fluida karena perbedaan tekanan antara *reservoir* hisap dan *reservoir* keluaran.
- b. *Elevation Head*: Ketinggian yang disebabkan oleh perbedaan tinggi permukaan fluida antara *reservoir* hisap dan *reservoir* keluaran, dengan sumbu pompa sebagai referensinya. Dalam pipa hisap, ada dua jenis instalasi,

yaitu: *Suction Head*, dimana permukaan fluida berada di atas sumbu pompa. Jumlah ketinggian elevasi adalah:

$$H_a = H_d - H_s \quad (2.1)$$

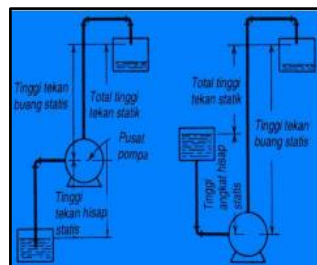
dimana:

H_d = *Head discharge* (m)

H_s = *Head suction* (m)

- c. *Suction Lift*: Pada jenis instalasi pipa hisap di mana permukaan fluida berada di bawah sumbu pompa, dikenal sebagai *Suction Head*. Jumlah ketinggian elevasi yang dihasilkan adalah:

$$H_a = H_d + H_s$$



(a) *Suction Lift* (b) *Suction Head*

Gambar 2. Instalasi Pada Pipa *Suction* (Ubaedilah,2016)

2.4.2 Head Dinamis

Head Dinamis adalah bagian dari total energi yang dihasilkan oleh pompa, terdiri dari:

a. *Velocity Head*

Velocity Head adalah komponen dari energi total yang disediakan oleh pompa, yang timbul akibat perbedaan dalam kecepatan fluida antara reservoir hisap dan reservoir keluaran.

b. *Head Loss*

Head Loss adalah pengurangan energi aliran yang terjadi sepanjang jalur pipa, termasuk pipa lurus, tikungan, penyaringan, katup, dan komponen lainnya.

2.4.3 Head Total

Head Total Instalasi adalah hasil penjumlahan antara *Head* Statis dan *Head* Dinamis. Ini mewakili total pengurangan yang harus diatasi oleh pompa dari semua komponen yang ada dalam sistem. Persamaan yang menggambarkan *Head* Total Instalasi adalah sebagai berikut:

$$H_{tot} = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v^2}{2g} \quad (2.2)$$

Dimana:

H_{tot} : *Head* total pompa (m)

h_a : *Head* Statis total (m)

Δh_p : Perbedaan tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

h_l : Berbagai kerugian head pipa, katup, belokan, sambungan, dll (m)

$V^2/2g$: *Head* kecepatan keluar (m)

g : Percepatan gravitasi 9,81 (m/s²)

2.5 Kehilangan dalam instalasi pompa

Kehilangan dalam instalasi pompa merujuk pada konsep bahwa dalam sistem perpipaan yang kompleks, ada berbagai faktor yang menyebabkan penurunan energi atau tekanan saat fluida mengalir melalui pipa-pipa dan komponen lainnya. Kehilangan ini disebut juga kerugian head (*Head Loss*).

2.5.1 Kerugian Head (*Head Loss*)

Kerugian head aliran fluida yang melalui pipa akan selalu terjadi karena adanya gesekan antara fluida dan dinding pipa, atau perubahan dalam kecepatan aliran fluida (Alkindi & Sutoyo, 2023)

2.5.2 *Head Loss Mayor*

Head Loss Mayor merupakan Kehilangan tekanan yang signifikan pada aliran air dalam pipa disebabkan oleh gesekan antara air dan dinding dalam pipa, dengan diameter pipa yang sama. *Head loss mayor* dalam aliran pipa dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$hl = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

Dimana:

hl = kerugian *head* karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

D = diameter dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran rata-rata fluida dalam pipa (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.5.3 *Head Loss Minor*

Kehilangan tekanan yang disebabkan oleh aksesoris perpipaan dikenal sebagai *Head Loss Minor*. Rumus untuk menghitung *Head Loss Minor* hanya berlaku untuk aliran yang turbulen.

$$hl = f \frac{v^2}{2g} n \quad (2.4)$$

Dimana:

f : koefisien *minor losses fitting*

v : kecepatan aliran (m/s)

n : Jumlah komponen

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

2.5.4 Menghitung *Head Loss Total*

Total kehilangan tekanan ini dihitung dengan menjumlahkan kehilangan tekanan mayor dan kehilangan tekanan minor.

$$\Delta Hl_{total} = Hl_{mayor} + Hl_{minor} \quad (2.5)$$

2.6 Laju Aliran Fluida

Tekanan di dalam pipa uji mengalami perubahan seiring dengan meningkatnya laju aliran fluida. Semakin tinggi laju aliran fluida dalam pipa, semakin rendah tekanan yang dialami oleh fluida tersebut (U. Dharma, 2012).

Untuk menghitung laju aliran fluida di dalam pipa, kita dapat menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh U. Dharma pada tahun 2012, yaitu:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.6)$$

Dimana :

V : Laju Aliran Fluida (m/s)

Q : Debit Aliran (m^3/s)

A : Luas Alas Permukaan Pipa (m^2)

2.7 Daya dan Efisiensi

2.7.1 Daya

Daya adalah besaran fisika yang menunjukkan besarnya kerja yang dilakukan dalam satuan waktu. Semakin besar daya yang dimiliki suatu benda, semakin cepat benda tersebut dapat melakukan kerja. Satuan daya dalam Sistem Internasional (SI) adalah Watt (W). Satu Watt didefinisikan sebagai satu Joule (J) kerja yang dilakukan dalam satu detik (s). Satuan lain yang sering digunakan untuk daya adalah Horsepower (HP). Satu HP setara dengan 746 Watt (Syahrizal Iman dan Perdana Daud, 2019).

a) Daya Hidrolik

Daya Hidrolik adalah daya yang dihasilkan oleh fluida ketika pompa mengubah energi mekanik menjadi energi fluida. Daya hidrolik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{pompa} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2.7)$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
 Q = Debit aliran (m^3/s)
 H = Head pompa (m)

b) Daya Listrik

Daya listrik adalah ukuran dari seberapa cepat energi listrik dipindahkan atau digunakan. Ini menggambarkan tingkat konsumsi atau produksi energi listrik dalam suatu sistem pada suatu waktu tertentu. Daya listrik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{\text{listrik}} = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.8)$$

Keterangan :

V = Tegangan listrik (V)
 I = Arus listrik (A)
 $\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.7.2 Efisiensi

Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi mekanis menjadi energi tekanan pada fluida. Sebagian energi hilang dalam bentuk losses atau kerugian. Efisiensi pompa adalah besaran yang digunakan untuk menghitung losses ini (Saksono Puji, 2011).

Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa.

$$\eta = \frac{P_H}{P_s} \quad (2.9)$$

dimana :

P_H = daya hidrolis
 P_s = daya poros pompa

Efisiensi hidrolis, sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan (2.10) berikut ini:

$$\eta_h = \frac{H_{tz} - \sum h_{\text{pompa}}}{H_{tz}} = \frac{H_{\text{pompa}}}{H_{tz}} \quad (2.10)$$

Efisiensi volumetris, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (2.11) berikut ini:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q+q} = \frac{Q}{Q'} \quad (2.11)$$

Debit melalui impeler adalah:

$$Q' = Q + q$$

dimana: Q = debit pompa, q = debit melalui celah

Efisiensi mekanis, bila daya poros N_o , kerugian daya karena gesekan N_m , maka persamaan efisiensi mekanis, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (2.12) berikut ini:

$$\eta_m = \frac{N_o - N_m}{N_o} \quad (2.12)$$

Daya hidrolis : $N_h = N_o - N_m$

$$N_h = \gamma(Q - q) H_{tz} \quad (2.13)$$

Efisiensi menyeluruh (total) adalah rasio antara daya air dan daya poros, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (2.14) berikut ini:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\gamma Q H_{pompa}}{N_o} \\ \eta &= \frac{\gamma Q H_{pompa}}{N_o} \frac{N_h}{\gamma(Q + q) H_{tz}} \\ \eta &= \frac{H_{pompa}}{H_{tz}} \times \frac{Q}{Q + q} \times \frac{N_h}{N_o} \\ \eta &= \eta_h \eta_v \eta_m \end{aligned} \quad (2.14)$$

2.8 Kerugian Tekanan

Perubahan dalam tekanan aliran fluida terjadi karena variasi ketinggian, modifikasi kecepatan akibat perubahan penampang, dan efek gesekan fluida. Dalam aliran bebas gesekan, persamaan Bernoulli memungkinkan analisis perubahan tekanan, mempertimbangkan perubahan ketinggian dan kecepatan. Namun, dalam aliran nyata, fokus utama adalah dampak gesekan yang menyebabkan penurunan tekanan. Gesekan ini menghasilkan kerugian tekanan, terbagi menjadi dua: kerugian mayor dan minor, tergantung pada lokasi kehilangan. Ketika fluida mengalami gesekan dengan saluran atau melalui komponen seperti pipa, belokan, atau katup, terjadi penurunan tekanan yang tergantung pada berbagai faktor seperti kecepatan, kekasaran permukaan, panjang, dan diameter pipa (Sriwati & Fadhl, 2017).

2.9 Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

Pressure drop adalah perbedaan tekanan antara dua lokasi atau elevasi yang berbeda dalam suatu fluida, dapat dihitung dengan persamaan (Sepfitrah & Rizal 2013):

$$(\Delta P) = \rho \cdot g \cdot (\Delta h) \quad (2.15)$$

Keterangan:

ΔP = *Pressure drop* (N/m²)

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m³)

g = Gravitasi (m/s²)

Δh = Selisih ketinggian pada pressure gauge (*head loss*)

2.10 Pipa *Polyinyl Chloride* (PVC)

Polyvinyl chloride (PVC) merupakan produk yang berasal dari sumber daya alam seperti garam dan gas atau minyak. Proses elektrolisis air garam menghasilkan klorin, serta produk sampingan berupa natrium hidroksida dan hidrogen. Etilena diperoleh dari nafta saat minyak disuling atau dari gas alam. Klorin dan etilena kemudian digabungkan untuk membentuk monomer vinil klorida, yang selanjutnya dipolimerisasi menjadi PVC (S. Patrick, 2005).



Gambar 3. Pipa *Polyinyl Chloride* (PVC) (S. Patrick, 2005)