



**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTARAN
POMPADA PERANCANGAN ALAT UJI POMPA
TUNGGAL, SERI DAN PARALEL**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian Studi
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin

Oleh :

TRENDY TORNANDO
NPM. 6417500101

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

2020

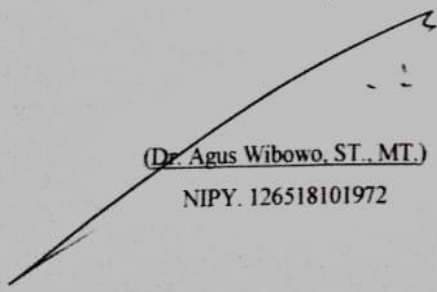
PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul "Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Pompa pada Perancangan Alat Uji Pompa Tunggal, Seri, dan Paralel" telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.

NAMA : TRENDY TORNANDO
NPM : 6417500101

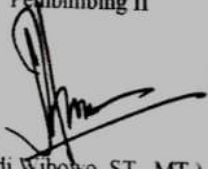
Tegal,

Pembimbing I


(Dr. Agus Wibowo, ST., MT.)

NIPY. 126518101972

Pembimbing II


(Hadi Wibowo, ST., MT.)

NIPY. 206516411971

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan Sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik
Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Kamis
Tanggal : 6 Agustus 2020

Anggota Penguji

Penguji I
(Dr. Agus Wibowo, ST., MT.)
NIPY. 126518101972

(.....)

Penguji II
(Ahmad Farid, ST., MT)
NIPY. 191511101978

(.....)

Penguji III
(Ir. Tofik Hidayat, M.Eng)
NIPY. 69519021969

(.....)

Disahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Pancasakti Tegal



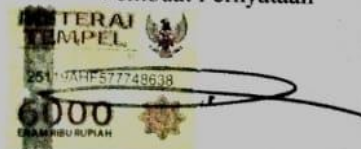
(Dr. Agus Wibowo, ST., MT.)
NIPY. 126518101972

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan skripsi dengan judul “**Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Pompa pada Perancangan Alat Uji Pompa Tunggal, Seri, dan Paralel**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menanggung resiko/ sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya.

Tegal,

Pembuat Pernyataan



(Trendy Tornado)

NPM. 6417500101

ABSTRAK

Trendy Tornado. 2020. Analisa pengaruh variasi kecepatan putaran pompa pada perancangan dan pengujian alat uji pompa tunggal, seri dan parallel.

Dalam kehidupan modern seperti sekarang ini pompa mempunyai penggunaan yang sangat luas di hamper segala bidang kegiatan. Dapat dimengerti bahwa untuk menanganinya diperlukan pengetahuan yang memadai dan terperinci terutama dalam cara –cara pemilihan, pemasangan, pemakaian, dan pemeliharannya. Dalam pengoperasian pompa, laju aliran yang dibutuhkan tidak selalu tetap, karena itu kapasitas aliran harus dapat diatur sesuai kebutuhan. Atas dasar pemikiran ini penulis mencoba meneliti pengaruh variasi kecepatan putaran pompa jika dipasang secara tunggal, seri dan parallel.

Pada peneltian ini variasi yang digunakan adalah kecepatan putaran pompa 1000, 1500, 2000, 2500 dan 2800 Rpm yang masing-masing diuji coba pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel.

Hasil dari penelitian ini adalah pada tipe pemasangan pompa tunggal pengaruh variasi kecepatan pompa menunjukkan pengaruh pada head dan kapasitas dimana semakin tinggi kecepatan pompa maka head dan kapasitasnya semakin tinggi. Untuk efisiensi pada kecepatan pompa 2500 rpm merupakan efisiensi tertinggi dengan nilai 30,711 %. Pada tipe pemasangan pompa seri head tertinggi adalah pada kecepatan pompa 2000 rpm dengan nilai head sebesar 12,293 m dan kapasitas tertinggi pada kecepatan pompa 2800 rpm dengan nilai kapasitas sebesar 0,00045 m³/s. Serta untuk efisiensi yang tertinggi pada kecepatan pompa 2000 rpm dengan nilai 29,704%. Pada tipe pemasangan pompa parallel head dan kapasitas tertinggi adalah pada kecepatan pompa 2800 rpm dengan nilai head 27,754 m dan kapasitas 0,0062 m³/s. Untuk Efisiensi yang tertinggi adalah pada kecepatan pompa 2500 rpm dengan 71,305%. Dari tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel yang memiliki head, kapasitas dan efisiensi tertinggi adalah tipe pemasangan pompa parallel.

Kata kunci: pompa sentrifugal, head, efisiensi

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Definisi Fluida	5
2.1.2 Sifat Dasar Fluida	6
2.1.3 Aliran Fluida	10
2.1.4 <i>Head</i>	12
2.1.5 Teori Dasar Pompa	18
2.1.6 Hukum Kekekalan Energi	31

2.1.7 Performansi Pompa	42
2.1.8 Kavitasi	51
2.1.9 Hukum Kesebangunan Pompa	52
2.1.10 Operasi Pompa Seri dan Paralel	53
2.1.10 Operasi Pompa Seri dan Paralel	55
2.2 Tinjauan Pustaka.....	55
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	64
3.1 Metode Penelitian	64
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	64
3.2.1 Waktu Penelitian	64
3.2.2 Tempat Penelitian	65
3.3 Variabel Penelitian.....	65
3.3.1 Variabel Bebas	65
3.3.2 Variabel Terikat	66
3.4 Metode Pengumpulan Data	66
3.5 Instrumen Penelitian	66
3.6 Diagram Alir Penelitian	74
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	75
4.1 Hasil Percobaan	75
4.2 Pengolahan Data	77
4.2.1 Perhitungan Tipe Pemasangan Pompa Tunggal pada Rpm 1000 pompa I	78
4.2.2 Perhitungan Tipe Pemasangan Pompa Tunggal pada Rpm 1000 pompa II	83
4.2.3 Perhitungan Tipe Pemasangan Pompa Seri pada Rpm 1000.....	89
4.2.4 Perhitungan Tipe Pemasangan Pompa Paralel	96
4.2.5 Grafik Hasil Penelitian	105
4.3 Pembahasan	109

BAB V PENUTUP	111
5.1 Simpulan	111
5.2 Saran	112

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Kerugian Belokan Pipa	17
Tabel 3.1 Tabel Pelaksanaan Kegiatan Penelitian	65
Tabel 3.2 Job Sheet Pengambilan Data	72
Tabel 3.3 Job Sheet Pengolahan Data Nilai Efisiensi dan Performa	73
Tabel 4.1 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa tunggal pompa I.....	75
Tabel 4.2 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa tunggal pompa II....	76
Tabel 4.3 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa seri	76
Tabel 4.4 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa paralel	77
Tabel 4.5 Hasil pengolahan data	104

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Grafik Head dan Debit pada Variasi Kecepatan Pompa Tipe Pemasangan Tunggal Pompa I.....	105
Grafik 4.2	Grafik Head dan Debit pada Variasi Kecepatan Pompa Tipe Pemasangan Tunggal Pompa II	106
Grafik 4.3	Grafik Head dan dan Debit pada Variasi Kecepatan Pompa Tipe Pemasangan Seri	106
Grafik 4.4	Grafik Head dan Debit pada Variasi Kecepatan Peompa Tipe Pemasangan Paralel	107
Grafik 4.5	Variasi Kecepatan Pompa pada Tipe Pemasangan Pompa Tunggal, Seri dan Parallel Terhadap Head	107
Grafik 4.6	Variasi Kecepatan Pompa pada Tipe Pemasangan Pompa Tunggal, Seri, dan Paralel Terhadap Kapasitas	108
Grafik 4.7	Variasi Kecepatan Pompa pada Tipe Pemasangan Pompa Tunggal, Seri, Paralel Terhadap Efisiensi	108

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan modern seperti sekarang ini pompa mempunyai penggunaan yang sangat luas di hamper segala bidang kegiatan. Jenis dan ukurannya pun beraneka ragam sesuai dengan pemakaiannya. Dapat dimengerti bahwa untuk menanganinya diperlukan pengetahuan yang memadai dan terperinci terutama dalam cara-cara pemilihan, pemasangan, pemakaian, dan pemeliharannya.

Pompa merupakan komponen utama pada system hidrolik yang berperan sebagai pembangkit tekanan. Pompa menerima tenaga mekanis yang berupa putaran yang dihasilkan oleh motor penggerak sehingga dapat memindahkan fluida cair dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi. Jika head atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara seri dan paralel. Karena itu pengoperasian pompa perlu perhatian khusus dengan menyesuaikan keadaan pompa tersebut. Terkadang instalasi pompa harus dibuat secara khusus dengan demikian akan sesuai dengan kebutuhan terhadap kapasitas pompa yang diperlukan, tinggi kenaikan, dan bahan (fluida) yang akan dipompa. (Supardi,2015).

Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa yang banyak penggunaannya khususnya dibidang pengairan, industry kimia dan industry minyak serta industry makanan (Sularso, 2000)

Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa yang banyak penggunaannya khususnya dibidang pengairan, industry kimia dan industry minyak serta industry makanan (Sularso, 2000).

Berdasarkan pemikiran ini perlu adanya suatu perancangan alat uji pompa, terutama pompa sentrifugal. Maka dari itu penulis ingin membuat alat uji pompa sentrifugal yang dapat dioperasikan secara Tunggal, Seri dan Paralel. Dimana pada alat tersebut akan digunakan pipa akrilik atau transparan untuk menunjukkan fenomena aliran yang terjadi di dalam pipa, dipasang sensor kecepatan aliran fluida, temperatur, dan tekanan yang akan ditampilkan dalam bentuk digital pada suatu layar *display* serta akan dipasang *dimmer* untuk mengatur kecepatan pompa. Dengan demikian pengguna alat uji pompa tersebut lebih mudah mendapat data untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putaran pompa terhadap Head, Kapasitas. Sehingga alat uji pompa tersebut nantinya juga bias menjadi sarana praktikum (alat peraga) fluida yang efektif, efisien dan mudah digunakan.

1.2 Batasan Masalah

Untuk menghasilkan penelitian yang lebih fokus, penulis akan memfokuskan masalah sebagai berikut :

1. Alat uji yang dirancang merupakan alat uji skala laboratorium.
2. Bahan yang digunakan untuk perancangan alat uji pompa tunggal, seri dan parallel menggunakan bahan-bahan yang mudah ditemukan di pasaran, sehingga mudah dalam melakukan perawatan pada alat uji yang dirancang.
3. Menggunakan pompa sentrifugal
4. Menggunakan *fluida* air

5. Jenis pompa yang digunakan shimizu model PS-116 Bit
6. Temperatur pengujian pada suhu ruangan
7. Hasil penelitian ini berdasarkan alat dan sistem yang digunakan pada saat pengujian
8. Alat ukur yang digunakan : digital flow meter merk zhongjiang, pressure vacuum gauge merk wiebrock, pressure gauge untuk mengukur tekanan dorong menggunakan pressure transmitter transducer (arduino sensor).

1.3 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putaran pompa terhadap kapasitas, head dan efisiensinya, apabila pompa dipasang secara tunggal, seri dan paralel ?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian adalah :

1. Melakukan perancangan dan pembuatan alat uji pompa tunggal, seri dan paralel.
2. Melakukan pengujian, dan menganalisis data hasil pengujian pada alat uji pompa tunggal, seri dan paralel
3. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan pompa terhadap terhadap kapasitas, head dan efisiensinya, apabila pompa dipasang secara tunggal, seri dan parallel.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dengan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui perubahan kapasitas, head dan efisiensi dari pompa karena pemasangannya secara tunggal, seri dan parallel serta adanya variasi kecepatan pompa.
2. Dapat berguna sebagai referensi terhadap penelitian serupa dengan jenis pompa, fluida dan kondisi yang berbeda.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang konsep dan teori tentang dasar-dasar fluida, azas pompa dan persamaan-persamaan yang digunakan dalam merancang suatu operasi pompa tunggal, seri dan paralel.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang metodologi penelitian, waktu dan tempat penelitian, variable penelitian/fenomena yang diamati, instrument penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil penelitian, meliputi data hasil pengujian dan pembahasan

BAB V PENUTUP

Berisikan simpulan dan saran didukung data hasil pengujian dan saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Definisi Fluida

Definisi dari fluida adalah substansi yang mengalir karena antar partikel satu dengan lainnya bebas. Secara umum fluida dibagi menjadi fluida *compressible* (mampu mampat) dan *incompressible* (tak mampumampat). Karakteristik fluida bisa dijelaskan dengan properti fluida. Adapun property fluida yaitu temperatur, tekanan, masa, volume spesifik, dan kerapatan masa (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008).

Fluida lebih mudah mengalir dikarenakan oleh ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, yang mengakibatkan fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Pada zat cair dan gas, zat cair tidak dapat mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah. Zat gas tidak mempunyai bentuk, maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena suatu fase cair dan gas tidak dapat mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Oleh karena itu zat cair dan gas sering secara kolektif disebut sebagai fluida. (Olson,1990)

Fluida ada dua jenis yaitu fluida mampu mampat dan fluida yang tak mampu mampat. Fluida mampu mampat adalah suatu fluida yang apabila diberi gayatekanan, maka volume dan suhunya akan mengalami perubahan. Salah satu contoh fluida mampu mampat adalah gas, sementara itu fluida tak mampu mampat yakni densitas fluida hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan yang besar terhadap tekanan dan suhu, contohnya adalah air.

2.1.2 Sifat Dasar Fluida

Untuk lebih memahami aliran fluida, maka harus mengetahui beberapa sifat-sifat dasar pada fluida. Adapun sifat-sifat dasar dari fluida yang perlu diketahui diantaranya yaitu kerapatan, tekanan dan kekentalan.

1. Kerapatan

Kerapatan (density) dapat diartikan sebagai ukuran konsentrasi suatu zat yang dinyatakan dalam massa per satuan volume. Pada volume fluida yang tetap, massa jenis suatu fluida tetap tidak berubah, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

v = volume fluida (m³)

m = massa fluida (kg)

ρ = rapat massa (kg/m³)

Massa jenis fluida bervariasi tergantung dari jenis fluida tersebut. Pada kondisi atmosfer, massa jenis air adalah 1000

kg/m³, massa jenis udara adalah 1,22 kg/m³. Untuk beberapa fluida, massa jenisnya tergantung pada tekanan dan temperatur dari fluida tersebut, khusus untuk fluida gas, perubahan keduanya akan sangat mempengaruhi massa jenis gas.

Sedangkan pada fluida cair, pengaruh keduanya kecil. Properti fluida yang lain yang berhubungan langsung dengan massa jenis adalah volume jenis, berat jenis dan *specific gravity*. Volume jenis merupakan kebalikan dari massa jenis yakni volume fluida dibagi dengan massanya. Sedangkan berat jenis adalah massa jenis fluida yang dikalikan dengan percepatan gravitasi atau berat fluida per satuan volume

$$\gamma = \rho \cdot g \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ = rapat massa (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Adapun untuk *specific gravity* ialah perbandingan antara massa jenis fluida dengan massa jenis air. Pada kondisi standar (4° C, 1 atm) massa jenis air adalah $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008)

$$S = \frac{\rho}{\rho_w} \dots\dots\dots(2.3)$$

ρ = rapat massa (kg/m³)

ρ_w = kerapatan air (kg/m³)

2. Tekanan

Jika permukaan suatu zat menerima gaya-gaya luar maka pada bagian permukaan zat yang menerima gaya tegak lurus akan mengalami tekanan. Bila gaya yang tegak lurus terhadap permukaan dibagi dengan luasan permukaan disebut dengan tekanan, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

P = tekanan (N/m², N/cm²)

A = luas penampang (m², cm²)

F = gaya (N)

Perlu diketahui dalam termodinamika, tekanan secara umum dinyatakan dalam harga absolutnya. Tekanan absolut tergantung pada tekanan pengukuran sistem. (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008). Bila tekanan pengukuran sistem diatas tekanan atmosfer, maka dapat dirumuskan :

$$p_{abs} = p_{gauge} + p_{atm} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

p_{abs} = Tekanan absolut

p_{gauge} = Tekanan pengukuran

p_{atm} = Tekanan atmosfer

Sedangkan, bila tekanan pengukuran dibawah tekanan atmosfer, maka dapat dirumuskan :

$$P_{abs} = p_{gauge} - p_{atm} \dots\dots\dots (2.6)$$

p_{abs} = Tekanan absolut

p_{gauge} = Tekanan pengukuran

p_{atm} = Tekanan atmosfer

3. Kekentalan

Kekentalan atau viskositas merupakan sifat fluida yang menunjukkan kemampuan fluida untuk mengalir. Fluida dengan viskositas yang besar lebih sulit untuk mengalir dibandingkan dengan fluida dengan viskositas yang kecil. Viskositas suatu fluida bergantung pada temperatur. Fluida memiliki viskositas yang besar pada temperatur yang tinggi, hal ini berkebalikan dengan fluida cair, dimana dengan kenaikan temperatur, viskositas zat cair itu semakin kecil.(Anis Samsudin dan Karnowo, 2008). Viskositas dibagi menjadi dua yaitu:

1) Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida, dirumuskan dengan :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

τ = tegangan geser (N/m²)

du/dy = gradien kecepatan ((m/s)/m)

2) Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida, dapat dirumuskan dengan :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

v = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

ρ = kerapatan fluida (kg/m³)

2.1.3. Aliran Fluida

1. Klasifikasi aliran

Secara garis besar jenis aliran dapat dikelompokkan menjadi sebagai berikut(Olson, 1990) :

1) Aliran Tunak

aliran tunak yaitu suatu aliran dimana kecepatannya tidak dipengaruhi oleh perubahan waktu, sehingga untuk kecepatan konstan pada setiap titik (tidak memiliki percepatan).

2) Aliran Tidak Tunak

Aliran tidak tunak yakni suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

2.Tipe-tipe aliran

Kondisi aliran fluida sangat bergantung dari kecepatan aliran fluida, semakin tinggi kecepatan akan mempengaruhi pola aliran, kondisi aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen.

Besaran yang dapat menghubungkan antara kecepatan aliran, kondisi fluida dan kondisi penampang diameter pipa adalah angka *Reynolds* (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008).

$$Re = \frac{V D \rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

V = kecepatan fluida (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = rapat massa fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

1) Aliran laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan satu lapisan meluncur dengan lancar. Aliran laminar memiliki kisaran nilai bilangan Reynold kurang dari 2300 ($Re < 2300$).

2) Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel suatu fluida tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang kemudian mengakibatkan saling tukar momentum dari suatu bagian fluida ke bagian fluida yang lainnya dalam skala yang besar. Nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).

3) Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas suatu fluida, kecepatan fluida dan hal-hal lain yang berkaitan dengan geometri aliran, dimana aliran ini memiliki nilai bilangan Reynold antara 2300 sampai 4000 ($2300 < Re < 4000$).

2.1.4. Head

Head adalah suatu bentuk energi yang dinyatakan dalam satuan panjang (m) dalam SI (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008).

Head terdiri dari head ketinggian (Z), head kecepatan $\frac{v^2}{2g}$,

dan head tekanan $\frac{p}{\rho g}$. 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) air tersebut.

1. Head Total Pompa

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa tersebut (Sularso, 2000). Head total pompa dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_1 + \frac{v_d^2}{2g} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

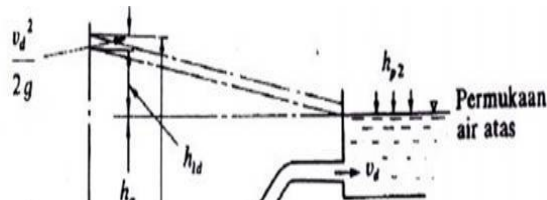
H = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total (m)

h_p = beda head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

h_1 = Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan (m)

$\frac{v_d^2}{2g}$ = Head kecepatan keluar (m)



Gambar 2.1. Instalasi pompa dan head total

Sumber: ebitfrista.wordpress.com

Dalam hal pompa menerima energi dari aliran yang masuk ke sistemnya, seperti pada pompa penguat atau pompa booster, maka head total pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_1 + \frac{1}{2g} (v_d^2 - v_s^2) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

H = Head total pompa (m)

h_a = Perbedaan tinggi antara titik sembarang A di pipa keluar dan sembarang titik B di pipa isap (m)

Δh_p = Perbedaan tekanan statis antara titik A dan titik B (m)

h_1 = Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan (m)

v_d = Kecepatan aliran rata-rata di titik A (m/s)

v_s = Kecepatan aliran rata-rata di titik B (m/s)

Apabila permukaan air yang berubah-ubah dengan perbedaan yang besar, maka head statis total harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik pompa, besarnya adalah selisih perubahan permukaan air, dandasar yang dipakai untuk menentukan jumlah air yang harus dipompa.

Hubungan antara tekanan dan head tekanan dapat dirumuskan :

$$H_p = \frac{\Delta p}{\gamma_{\text{air}}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

H_p = Head Tekanan (m)

Δp = Tekanan (Pa)

γ = Berat per satuan volume zat cair yang dipompa (N/m³)

2. Head Kerugian (*Head Loss*)

Head kerugian adalah head untuk mengatasi kerugian-kerugian yang terdiri dari kerugian gesek aliran dalam pipa, dan head kerugian di dalam belokan, percabangan dan perkatupan.

1) Kerugian Mayor

Kerugian dalam pipa atau bisa disebut *major losses* adalah kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran di sepanjang pipa. Untuk menghitung kerugian gesek dapat dirumuskan sebagai berikut (Fox dan Mc Donald, 1995):

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

H_f = Kerugian gesek dalam pipa (m)

f = Koefisien kerugian gesek

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2) Kerugian Head Dalam Jalur Pipa

Pada saat aliran fluida mengalami gangguan aliran yang menyebabkan kurangnya energi aliran, hal ini dapat disebut sebagai head kerugian dalam jalur pipa. Secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H_f = f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

h_f = Kerugian gesek dalam pipa (m)

f = Koefisien kerugian

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Kerugian head ini sering terjadi pada :

- a. Pada belokan (*elbow*)

Pada belokan lengkung koefisien kerugian dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$f = [0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5}] + \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \dots (2.15)$$

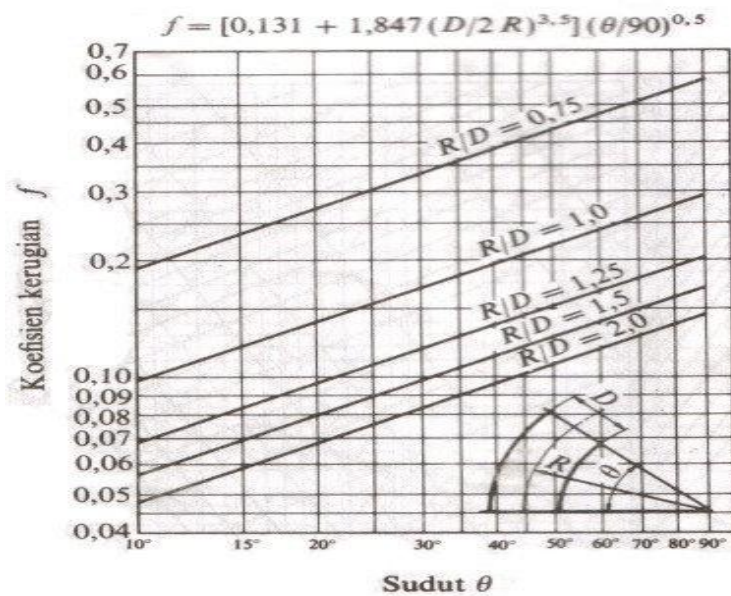
Dimana :

D = Diameter dalam pipa (m)

R = Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

θ = Sudut belokan (°)

f = Koefisien kerugian



Gambar 2.2. Koefisien kerugian pada belokan
Sumber: Sularso, 2000 hal 34

Sementara itu, untuk belokan patah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \dots (2.16)$$

Dimana:

Θ = Sudut belokan

f = Koefisien kerugian

Tabel 2.1 Koefisien kerugian belokan pipa

θ°		5	10	15	22.5	30	45	60	90
f	Halus	0.016	0.034	0.042	0.066	0.130	0.236	0.471	1.129
	kasar	0.024	0.44	0.062	0.154	0.165	0.320	0.684	1.628

Pemasangan katup atau biasa disebut *valve* merupakan suatu hal yang sangat penting untuk mengontrol kapasitas fluida, akan tetapi dengan pemasangan katup tersebut akan mengakibatkan kerugian energi aliran, hal ini dikarenakan aliran tercekik. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung kerugian head karena pemasangan katup adalah sebagai berikut :

$$h_v = f_v \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

h_v = Kerugian head pada katup (m)

f_v = Koefisien kerugian katup

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.1.5. Teori Dasar Pompa

1. Definisi Pompa

Pompa adalah salah satu jenis mesin fluida yang termasuk golongan mesin kerja. Pompa digunakan untuk mengalirkan atau memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Prinsip kerja pompa adalah menghisap dan melakukan penekanan terhadap fluida. Dalam fungsinya, pompa mengubah energi gerak poros untuk kemudian menggerakkan sudu-sudu menjadi energi gerak dan tekanan pada fluida. Pada umumnya pompa dipergunakan untuk menaikkan fluida dari sebuah reservoir, pengairan, pengisi ketel dan sebagainya.

Dalam pelaksanaan operasionalnya pompa dapat bekerja secara tunggal, seri maupun paralel yang kesemuanya tergantung pada kebutuhan (Edwards, 1996).

2. Klasifikasi Pompa

Menurut prinsip kerjanya, pompa diklasifikasikan menjadi:

1) Pompa Perpindahan Positif

Pompa ini menghasilkan head yang tinggi dengan kapasitas yang rendah, perubahan energi yang terjadi pada pompa jenis ini adalah energi mekanik yang diubah langsung menjadi energi potensial, yang termasuk pompa perpindahan positif adalah sebagai berikut:

a. Pompa Piston

Pompa jenis perpindahan positif banyak digunakan untuk melayani sistem instalasi yang membutuhkan head

yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa jenis ini menghasilkan tekanan tinggi dengan kecepatan aliran yang rendah. Dengan alasan tersebut pompa ini banyak digunakan untuk peralatan dengan zat cair yang abrasif dan kekentalan tinggi. Namun, secara umum pompa perpindahan positif dibagi mejadi dua yaitu jenis gerak bolak-balik (*reciprocating*) dan gerak putar (*rotary*).

b. Pompa Roda Gigi

Prinsip kerja dari pompa roda gigi ini adalah berputarnya dua buah roda gigi yang berpasangan yang terletak antara rumah pompa dan menghisap dan menekan fluida yang akan mengisi ruangan antar roda gigi yang kemudian ditekan ke sisi buang sebagai akibat terisnya ruang antar roda gigi pemasangannya. Pompa jenis ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan head yang tinggi dengan kapasitas aliran yang rendah.

c. Pompa Torak

Pompa ini melakukan gerakan isap terbuka dan katup tekan tertutup. Pada saat torak mulai melakukan gerakan tekan, katup isap akan tertutup dan katup tekan terbuka. Kemudian fluida yang tadinya terhisap dibuang pada katup tekan. Pompa ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan head yang tinggi dengan kapasitas yang rendah,

salah satu contoh aplikasinya pompa ini digunakan untuk pemenuhan tenaga hidrolis.

2) Pompa Dinamik

Pompa dinamik adalah pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan satu impeller yang berputar dengan kecepatan yang tinggi. Fluida masuk pada sisi hisap yang kemudian dipercepat oleh impeler yang menaikkan kecepatan absolut fluida maupun tekanannya dan melemparkan fluida tersebut melalui *volute*, yang termasuk jenis pompa dinamik adalah sebagai berikut (Dietzel, 1980) :

a. Pompa Aksial

Impeller berputar yang kemudian menghisap fluida yang akan dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa jenis ini biasanya diproduksi untuk kebutuhan head yang rendah dengankapasitas aliran yang besar, dalam aplikasinya pompa ini biasanya digunakan untuk keperluan irigasi.

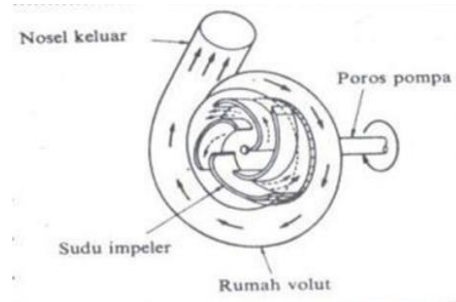
b. Pompa Sentrifugal

Pompa ini terdiri dari satu atau lebih impeller yang dilengkapi dengan sudu-sudu pada poros yang berputar yang diselubungi oleh *casing*. Fluida dihisap pompa melalui sisi hisap, akibat berputarnya impeller yang menghasilkan

tekanan vakum, pada sisi hisap selanjutnya fluida tersebut terlempar ke luar impeller akibat gaya sentrifugal yang dimiliki oleh fluida.

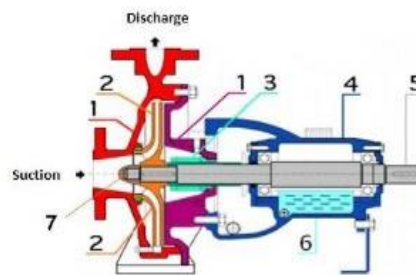
3. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal digunakan untuk memberikan atau menambah kecepatan pada cairan dan kemudian merubahnya menjadi energi tekan. Cairan dipaksa masuk ke sebuah impeller. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeller yang ada berada dalam cairan tadi. Apabila impeller berputar maka zat cair yang ada dalam impeller akan ikut berputar akibat dorongan sudu – sudu pada impeller. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller menuju keluar melalui saluran diantara sudu – sudu dengan kecepatan tinggi. Zat cair yang meninggalkan impeller tersebut dikumpulkan di dalam rumah pompa (*casing*) yang berbentuk spiral atau biasanya disebut volut yang tugasnya mengumpulkan cairan dari impeller dan mengarahkan ke *discharge nozzle*. *Dischargenozzel* berbentuk seperti kerucut sehingga kecepatan aliran yang tinggi dari impeller bertahap turun, kerucut ini disebut *diffuser*. Pada waktu penurunan kecepatan di dalam *diffuser* energi kecepatan pada aliran cairan diubah menjadi energi tekan. Jadi impeller pompa berfungsi memberikan kerja pada zat cair sehingga energi yang dikandungnya akan menjadi lebih besar (Sularso, 2000).



Gambar 2.3. Bagian aliran fluida dalam pompa sentrifugal
 Sumber: Sularso,2000 Hal 4

Pompa sentrifugal adalah suatu mesin kinetis yang mengubah energi mekanik menjadi energi fluida menggunakan gaya sentrifugal (Sularso, 2000), pompa sentrifugal terdiri dari sebuah cakram dan terdapat sudu-sudu, arah putaran sudu-sudu itu biasanya dibelokkan ke belakang terhadap arah putaran.



Gambar 2.4. Bagian bagian pompa sentrifugal
 Sumber: teknikmesinzone.blogspot.com

Keterangan :

1) *Casing*

Komponen utamapertama dari pompa sentrifugal adalah *casing* pompa. *Casing* pompa sentrifugal didesain berbentuk

sebuah diffuser yang mengelilingi impeller pompa. Diffuser ini lebih sering dikenal sebagai *volute casing*. Sesuai dengan fungsi diffuser, *volute casing* berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran (*flow*) fluida yang masuk ke dalam pompa. Menuju sisi outlet pompa, *volute casing* didesain membentuk corong yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kinetik menjadi tekanan dengan jalan menurunkan kecepatan dan menaikkan tekanan, hal ini juga meml



lroluk pada *shaft*

pompa.

Gambar 2.5. Casing pompa sentrifugal

Sumber: sekedartulisanweb.wordpress.com

2) *Impeller*

Impeller pompa air adalah bagian pada **pompa air** yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang kemudian diteruskan pada daya **pompa**, dan akibat adanya efesiensi (timbul kerugian berupa gesekan cairan) karena perubahan arah aliran yang terdapat pada sudu-sudu ***impeller***.

Penggolongan impeller sendiri dapat dibedakan dari arah alirannya, yaitu sebagai berikut.

a. Aliran radial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran radial adalah tegak lurus terhadap poros dan head yang timbul disebabkan dari gaya sentrifugal itu sendiri. Pompa aliran radial mempunyai head yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pompa jenis yang lain.

b. Aliran aksial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran aksial terletak pada bidang yang sejajar dengan sumbu poros dan head yang timbul akibat dari besarnya gaya angkat dari sudu-sudu geraknya. Pompa aliran aksial mempunyai head yang lebih rendah tetapi kapasitasnya lebih besar

c. Aliran campuran

Pada pompa ini fluida yang masuk sejajar dengan sumbu poros dan keluar sudu dengan arah miring (merupakan perpaduan dari pompa aliran radial dan pompa aliran aksial). Pompa ini mempunyai head yang lebih rendah namun mempunyai kapasitas lebih besar.

Jenis hisapan juga dapat menjadi klasifikasi karena ada jenis hisapan tunggal dan juga jenis hisapan ganda. Impeller juga dapat digolongkan berdasarkan konstruksi mekaniknya.

Namun, kita dapat mengenal berbagai jenis impeller sebagai berikut:

a) Jenis impeller *Closed Impeller*

Umum digunakan pada pompa yang aliran air bersih. Biasanya sering digunakan di rumah tangga/domestik.



Gambar 2.6. Impeler tertutup

Sumber: uripgumulya.com/berbagai-komponen-dalam-pompa-sentrifugal

b) Jenis Impeller Terbuka dan Semi Terbuka

Dengan kondisinya yang terbuka atau semi terbuka, maka kemungkinan adanya sumbatan pun jauh berkurang. Umumnya jenis ini digunakan untuk mengaliri air. Air juga bermacam-macam ada air bersih, air kotor dan ada juga aplikasi industri untuk mengedarkan lumpur atau air limbah

atau untuk mengalirkan air hujan dari lubang lubang atau laguna limbah penyimpanan. Karena itu ada jenis impeler **open impeller** khususnya digunakan untuk mengaliri limbah pembuangan dan lumpur.

Pompa dengan open impeller umumnya cukup mahal dan kemampuannya besar untuk mengaliri aliran yang *viscosity* tinggi, dan berat. Namun, jenis impeller ini hanya dapat diatur secara manual untuk mendapatkan setelan terbaik.



Gambar 2.7. Impeler semi terbuka

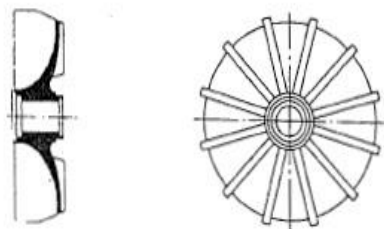
Sumber: uripgumulya.com/berbagai-komponen-dalam-pompa-sentrifugal



Gambar 2.8. Impeler terbuka
Sumber: uripgumulya.com/berbagai-komponen-dalam-pompa-sentrifugal

c) Impeler **pomp** berpusar/*vortex*

Untuk pompa yang digunakan untuk bahan-bahan yang lebih padat ataupun berserabut dari fluida cair, impeller *vortex* dapat menjadi pilihan yang baik. Namun sayangnya, pompa jenis ini 50% kurang efisien dari rancangan konvensional.



Gambar 2.9. Impeler vortex
Sumber: ksbforblog.blogspot.com

d) Cutting Impeler

Impeller ini umumnya digunakan untuk pompa yang akan mengalir berbagai macam sampah-sampah organik dan non organik dan untuk limbah-limbah. Biasanya ditemukan di gedung, hotel, pabrik. Karena terkadang sampah-sampah dari pembuangan saluran air diikuti oleh berbagai macam sampah yang akan di potong-potong oleh impeller pemotong sehingga tidak merusak pompa air limbahnya.



Gambar 2.10. Impeler cutting

Sumber: www.google.com/search?q=impeller+cutting

3) *Shaft Seal*

Seal adalah perapat bagian pompa untuk memastikan tidak ada kebocoran dalam pompa dan antar komponen yang di sambungkannya. Dalam memperhatikan *mechanical seal* akan

lebih efektif pada kondisi pompa air yang sedang anda jalankan. Dengan begitu pompa air tersebut apabila tidak terjadi kebocoran maka mechanical seal tersebut aman. Namun ada yang perlu anda perhatikan dalam faktor dan penyebab terjadi kebocoran pada mechanical seal pompa air :

- a. Terlalu cepat dalam putaran
- b. Permukaan komponen Seal adanya sedikit kekasaran
- c. Diameter Shaft



Sum

[.com](#)

4) *Bearing Housing*

Bearing atau bantalan berfungsi untuk menumpu atau menahan beban dari poros agar dapat berputar. *Bearing* juga berfungsi untuk memperlancar putaran poros dan menahan poros agar tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek dapat diperkecil. Sedangkan *housing* sendiri berasal dari Inggris yang



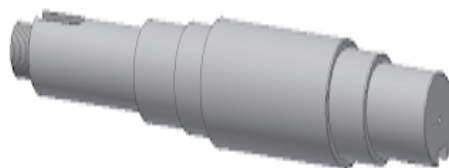
artinya rumah. Jadi *bearing housing* adalah rumah/tempat bearing atau sering juga disebut bantalan



Gambar 2.12. *Bearing Housing*
Sumber: industryoleochemical.blogspot.com

5) *Shaft*

Shaft (poros) merupakan komponen penghubung antara pompa dengan impeller untuk menyambungkan energi ke impeller untuk memutar impeller.



Gambar 2.13. *Shaft* pompa
Sumber: macammakati.blogspot.com

6) *Lubricating Reservoir*

Adalah tempat untuk pengisian pelumas, pelumas yang digunakan adalah oli

7) *Eye Of Impeler*

Eye of impeler atau bisa juga disebut mata impeler adalah bagian depan dari impeler



Gambar 2.14. Mata impeler
Sumber: www.klikteknik.com

2.1.6. Hukum Kekekalan Energi

Persamaan energi untuk aliran lunak pada pompa air yang masuk sistem di titik 1 dan keluar sistem di titik 2 dengan mengabaikan rugi-

rugi energi (karena sangat kecil) yang diakibatkan oleh gesekan fluida di dalam saluran (White, Frank M.,1979, p.162)

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} V_1^2 + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} V_2^2 + z_2 - h_p \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

P = Tekanan fluida (watt)

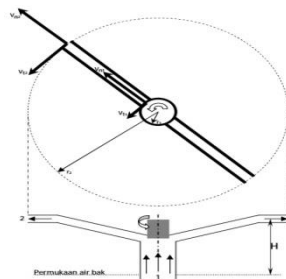
ρ = massa jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

z = tinggi titik (m)

h= tinggi tekan (head) pompa air (m)



Gambar 2.15. Arah aliran fluida pada pompa sentrifugal
Sumber: artikel-teknologi.com

1.Gaya Sentrifugal

Setiap benda yang bergerak membentuk lintasan lingkaran harus tetap diberikan gaya agar benda tersebut terus berputar.

(Halliday.,Resnick, 1985:84). Pada pompa sentrifugal, pompa diputar secara terus menerus untuk menghasilkan gaya sentrifugal.

Besarnya gaya tersebut, dapat dihitung dengan Hukum II Newton untuk komponen radial :

$$\sum F = m \cdot a \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\sum F_R = m \cdot a_r \dots\dots\dots(2.20)$$

$$= m \frac{v^2}{r}$$

Dengan :

m = Massa Benda (kg)

a_r = Percepatan Sentripetal (m/s²)

r = Jari Jari (m)

2. Persamaan Persamaan Yang Bekerja Pada Pompa

1)Debit air yang dihasilkan pompa :

Dengan menggunakan metode bucket, maka didapat volume air yang dihasilkan pompa per satuan waktu. Debit digunakan untuk menghitung besar daya yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal. Debit air yang dihasilkan pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan :

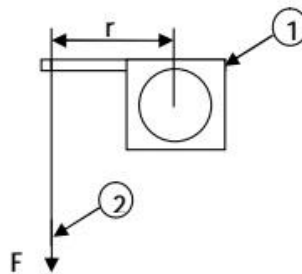
$Q = \text{Daya } (l/m)$

$v = \text{Volume air } (l)$

$t = \text{Waktu } (m)$

2)Torsi

Torsi atau momen putar adalah hasil perkalian antara gaya dengan panjang lengan gaya. (Soedarjana,1962). Torsi yang dihasilkan oleh poros digunakan untuk menghitung besar daya yang dihasilkan oleh poros

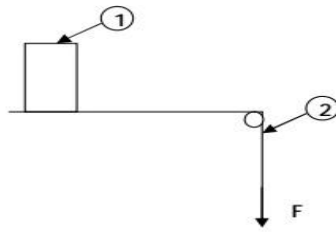


Gambar 2.16. Tampak atas menghitung torsi pompa sentrifugal
Sumber:taufiqurrokhman.wordpress.com

Keterangan gambar :

1. Motor listrik

2. Tali



Gambar 2.17. Tampak samping menghitung torsi pompa
 Sumber: taufiqurrokhman.wordpress.com

Torsi yang dihasilkan pompa dapat dihitung dengan persamaan :

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan :

F = Gaya yang bekerja pada pompa (N)

r = Panjang lengan gaya (m)

3) Daya Hidraulik (Nh)

Daya hidraulik adalah daya yang secara efektif diterima oleh fluida dari pompa per satuan waktu. (Sularso, 2000)

$$Nh = \rho Q H g \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan :

Nh = Daya Hidraulik (kW)

Q = Debit Aliran (m^3/det)

H = Head Total Pompa (m)

ρ = Berat Jenis (kg/m^3)

4) Daya Pompa (N_p)

Daya pompa adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan poros pompa. (Ir. Najamudin, MT, 2014)

$$N_p = T \cdot \omega \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana :

N_p = Daya Pompa (kW)

T = Momen Torsi (N.m)

ω = Kecepatan Sudut

$$= 2 \pi n / 60$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot n / 60$$

n = Putaran Poros (rpm)

5) Head

Seringkali banyak yang bingung ketika bertemu dengan kata-kata head pada saat belajar pompa. Yang perlu kita ketahui, head itu berhubungan dengan tekanan, selain itu berhubungan juga dengan perbedaan ketinggian permukaan fluida dari tempat asal yang ingin di pompa ke tempat tujuan pompa tersebut. Coba anggap saja head itu energi dalam satuan jarak, jadi misalnya pompa ingin mengalirkan air dengan perbedaan ketinggian

sebesar 20 meter, maka diperlukan total head pompa sebesar 20 meter.

$$\text{Head total} = H_p + H_v + H_a + H_L \dots\dots\dots(2.25)$$

Head total adalah total head yang akan dihasilkan oleh pompa.

Head tekanan adalah head dari perbedaan tekanan discharge dan suction

Head kecepatan yaitu dari perbedaan kecepatan discharge dan suction.

Head statik yaitu dari perbedaan ketinggian permukaan air dari sisi tempat suction dan tempat discharge.

Head loss adalah head yang hilang disebabkan adanya gaya gesek antara fluida dengan pipa.

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}}{\rho g} \right) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\text{Head Kecepatan} = \left(\frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan :

H = Head (meter)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg / m^3)

V_d = kecepatan fluida pada bagian discharge pompa. (m/s)

V_s = kecepatan fluida pada bagian suction pompa. (m/s)

P_d = Tekanan saat fluida keluar dari pompa.

P_s = Tekanan saat fluida masuk ke pompa.

(1 bar = 1.0197 kg/cm²) 1 bar = 10 Pascal (Pascal = N/m²)

Keduanya dapat dicari menggunakan pressure gauge yang terpasang pada sisi suction dan discharge pada pompa.

Jika tidak ada data yang menampilkan keduanya, maka dapat dicari menggunakan Debit (Q) dan diameter dari pompa bagian discharge dan suction (D discharge dan D suction)

$$Q = V_d \cdot A_d = V_s \cdot A_s \dots \dots \dots (2.28)$$

Dengan :

Q = Debit aliran (m³/s)

V_d = kecepatan fluida pada bagian discharge pompa. (m/s)

V_s = kecepatan fluida pada bagian suction pompa. (m/s)

A = Luas penampang (m²)

$$H_f = \left(f \frac{l V^2}{d 2 g} \right) \dots \dots \dots (2.29)$$

Dengan :

H_f = Head Losses Mayor (m)

f = friction factor

l = panjang pipa / panjang jarak yang ditempuh fluida dari sisi suction sampai discharge (m)

v = kecepatan rata-rata dari fluida (m/s)

d = diameter dari pompa (m)

g = percepatan gravitasi (kg/m^2)

Untuk mencari head loss mayor, pertama-tama kita harus tau jenis aliran (laminar/turbulance) dan besarnya bilangan Reynolds untuk mendapatkan friction factornya (f)

$$\text{Re} = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dengan :

v = kecepatan fluida (m/s)

l = panjang pipa (m)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

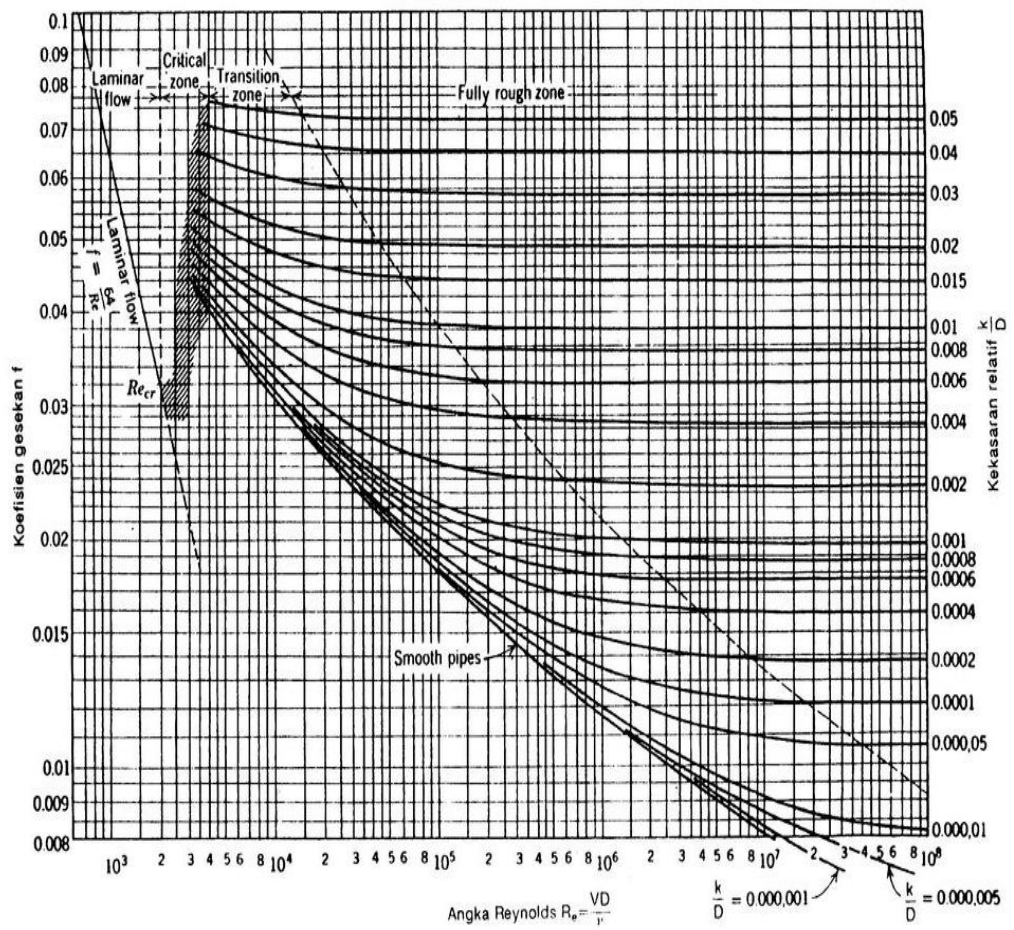
μ = viskositas dinamis (m^2/s)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

Jika Re nya kurang dari 2000, maka alirannya laminar, dan friction factor dapat dicari dengan rumus :

$$\text{Friction faktor} = \frac{64}{\text{Re}} \dots \dots \dots (2.31)$$

Jika Re nya lebih dari 4000 maka nilai friction factor bisa dicari pada diagram moody.



Gambar 2.18. Tabel diagram moody
 Sumber :slideplayer.info

$$h=K \frac{V^2}{2.g} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan :

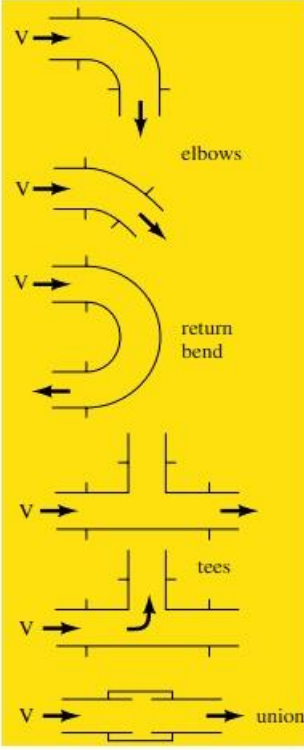
h = Head Loss Minor (m)

k = Koefisien gesekan

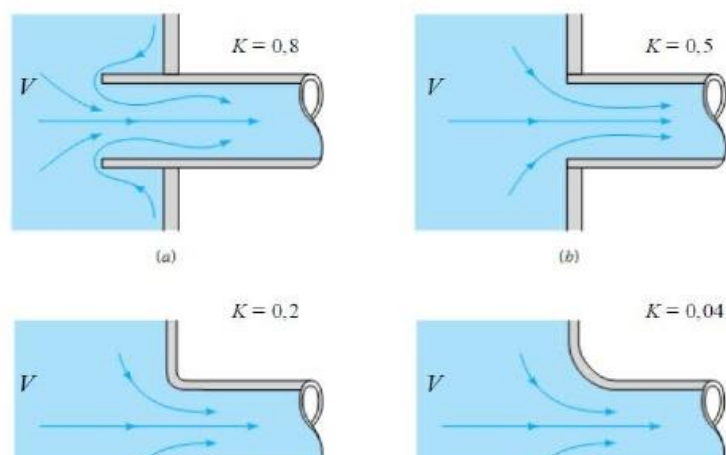
v^2 = Kecepatan rata-rata

Sedangkan nilai K dapat kita temukan pada gambar berikut ini

Component	K_L
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0
d. Union, threaded	0.08
e. Valves	
Globe, fully open	10
Angle, fully open	2
Gate, fully open	0.15
Ball valve, fully open	0.05



Gambar 2.19. Nilai K pada instalasi pipa
 Sumber :kurniawan –mechanicalui09.blogspot.com



Gambar 2.20. Nilai K pada penyempitan pipa

Sumber :document.tips .com

Jadi total losses dapat dicari dengan cara :

$H_L = \text{Head loss mayor} + \text{Head loss minor}$

$$h = k \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dengan :

$h = \text{Head Loss Minor (m)}$

$n = \text{Jumlah fitting}$

$k = \text{Koefisien gesekan}$

$V = \text{Kecepatan rata rata (m/s)}$

Jadi total losses dapat dicari dengan cara :

$H_L = \text{Head loss mayor} + \text{Head loss minor}$

6) Efisiensi pompa

Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan karena ada sebagian energi kinetik yang hilang dalam bentuk *losses* atau kerugian. Efisiensi pompa adalah suatu faktor yang dipergunakan untuk menghitung *losses* ini.

Efisiensi pompa terdiri dari :

1. Efisiensi hidrolis, memperhitungkan *losses* akibat gesekan antara cairan dengan impeler dan losis akibat perubahan arah yang tiba-tiba pada impeler.
2. Efisiensi volumetris, memperhitungkan *losses* akibat resirkulasi pada ring, bushing, dll.
3. Efisiensi mekanis, memperhitungkan losis akibat gesekan pada *seal, packing gland, bantalan, dll.*

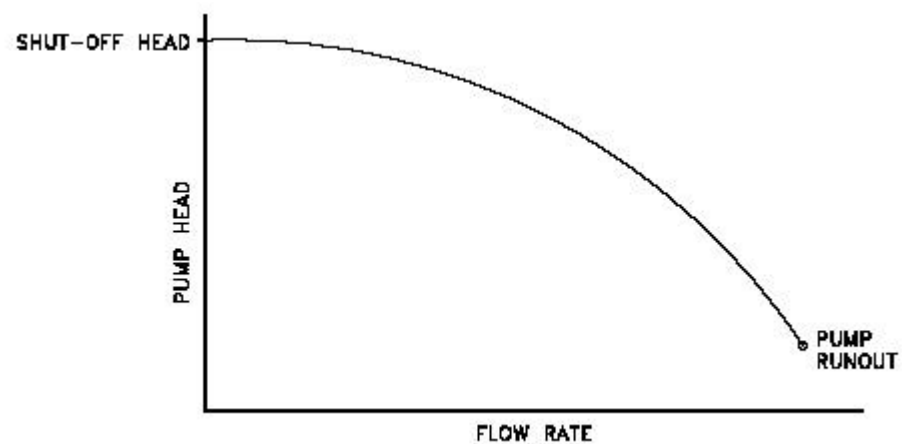
Setiap pompa dirancang pada kapasitas dan *head* tertentu, meskipun dapat juga dioperasikan pada kapasitas dan *head* yang lain. Efisiensi pompa akan mencapai maksimum pada *designed point* tersebut, yang dinamakan dengan titik BEP. Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiensinya akan lebih rendah.

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

$$\text{Efisiensi} = \frac{N_h}{N_p} \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.34)$$

2.1.7 Performansi Pompa

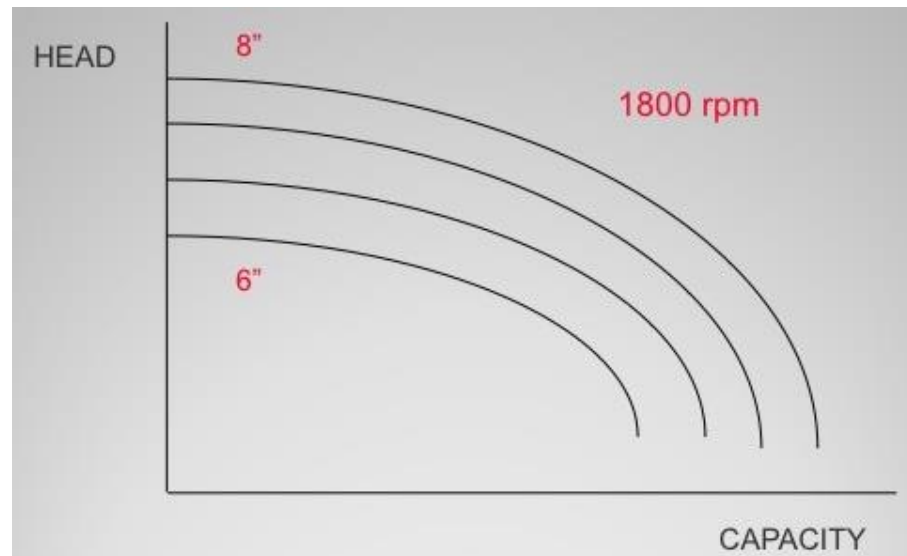
Setiap pompa yang dibuat oleh produsen memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi dan desain pembuatannya. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran besar dan desain pompa, ukuran dari diameter impeler, serta besar putaran operasionalnya. Karakteristik sebuah pompa ditunjukkan melalui sebuah kurva Head vs. Debit pompa.



Gambar 2.21. Kurva Head VS Debit Pompa
Sumber : artikel-teknologi.com

Kurva karakteristik pompa di atas juga biasa dikenal di dunia *engineering* dan industri sebagai Kurva Performa Pompa.

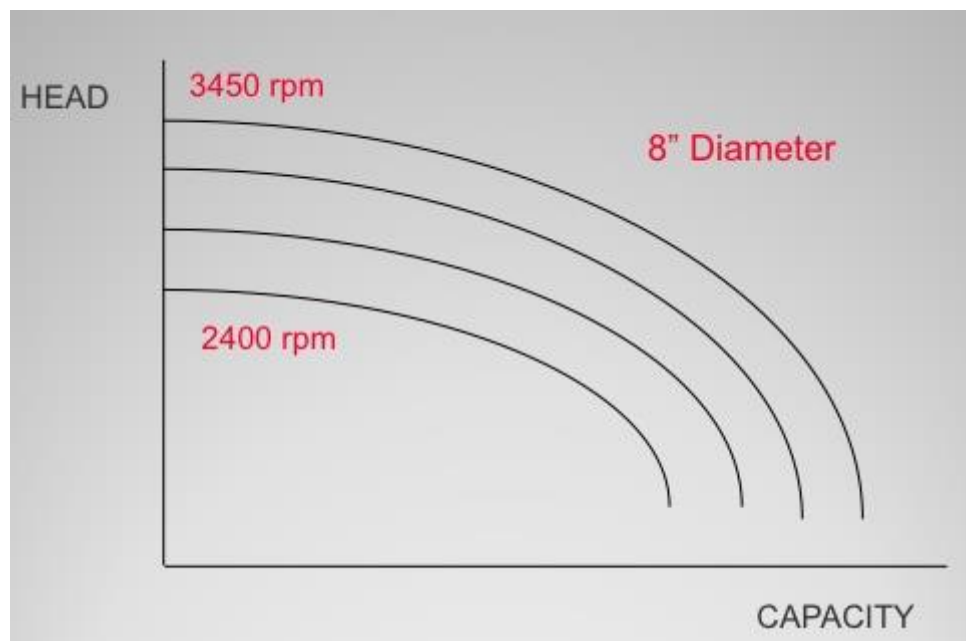
Jika pada sebuah pompa tertentu dijaga konstan putaran porosnya, maka kita dapat menggeser kurva performansinya dengan cara memvariasikan besar diameter impellernya.



Gambar 2.22. Kurva Head VS Capacity Ketika Pompa Dijaga Konstan Putaran Porosnya

Sumber :artikel-teknologi.com

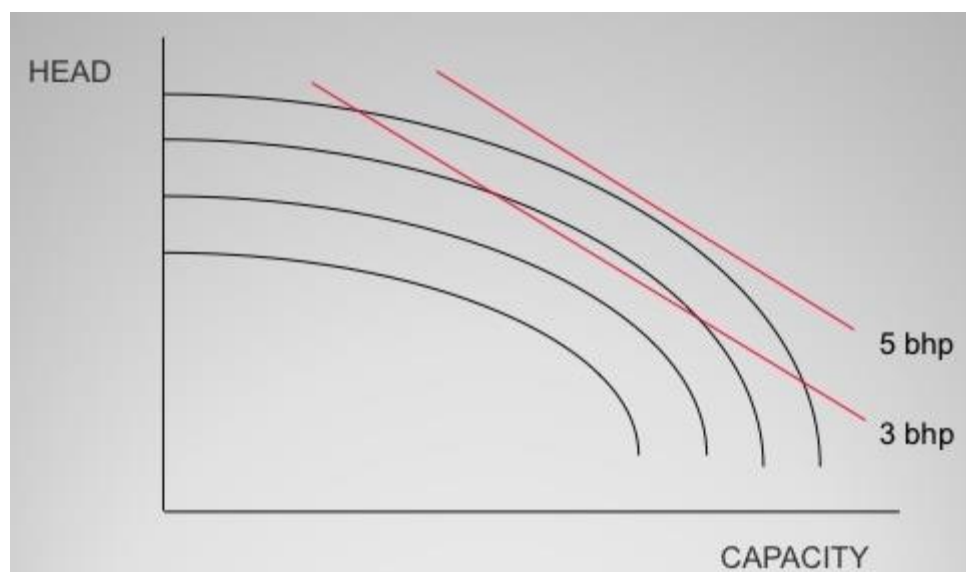
Begitu pula jika kita menjaga diameter impeller pompa pada kondisi konstan, lalu kita memvariasikan besar putaran porosnya, maka kita juga dapat menggeser kurva performansi pompa ke kanan maupun ke kiri.



Gambar 2.23. Kurva Head VS Capacity Ketika Diameter Impeller Pompa pada Kondisi Konstan
Sumber :artikel-teknologi.com

Pemvariasian kondisi pompa di atas memang tampak kurang lazim. Namun di dunia industri hal tersebut menjadi hal yang lumrah. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap misalnya, pompa utama yang mensupply air menuju boiler harus dapat memvariasikan besar debit air yang dikeluarkan sesuai dengan kebutuhan uap air yang akan diproduksi boiler. Perubahan beban listrik maka kebutuhan uap airnya juga berbeda-beda. Pemvariasian putaran pompa menjadi solusi yang masuk akal untuk digunakan pada industri ini.

Yang pertama adalah informasi **Brake HorsePower** (BHP) yang diperlukan untuk mengoperasikan pompa. BHP juga dikenal dengan daya mesin murni adalah sebuah satuan penunjukan daya sebuah mesin sebelum dikurangi oleh **losses** akibat desain sistem atau *losses* lainnya.



Gambar 2.24. Kurva Head VS Capacity Ketika Divariasikan **Brake HorsePower**

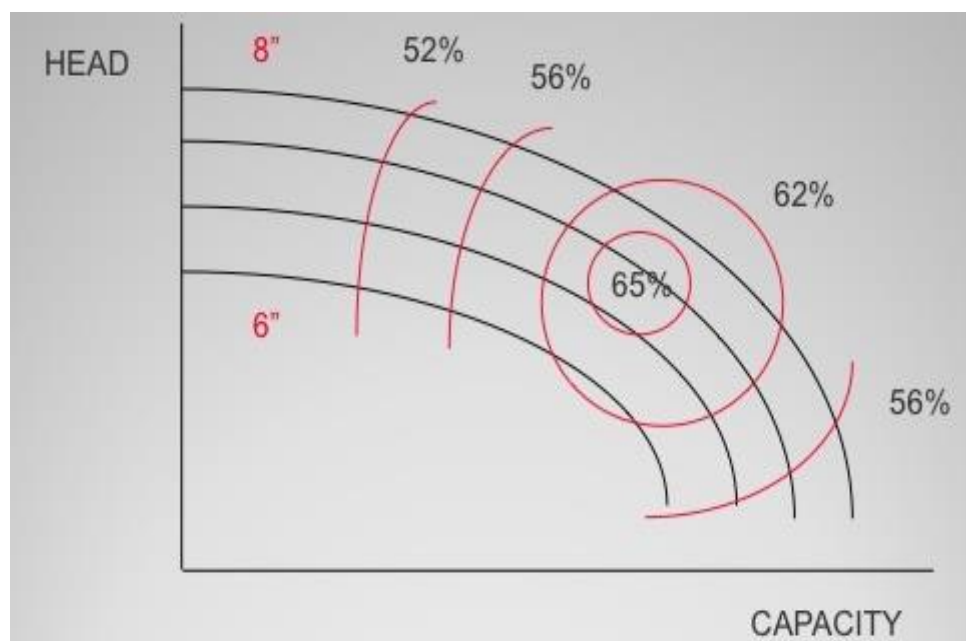
Sumber :artikel-teknologi.com

Informasi BHP Pada Kurva Karakteristik Pompa

Perlu diingat bahwa informasi BHP pada kurva karakteristik pompa adalah untuk fluida air yang memiliki nilai *specific gravity* = 1. Jika pompa akan digunakan untuk fluida lain, maka nilai BHP harus dihitung terlebih dahulu. Misal fluida yang akan digunakan adalah bensin dengan nilai *specific gravity* 0,72, maka nilai BHP yang diperlukan adalah:

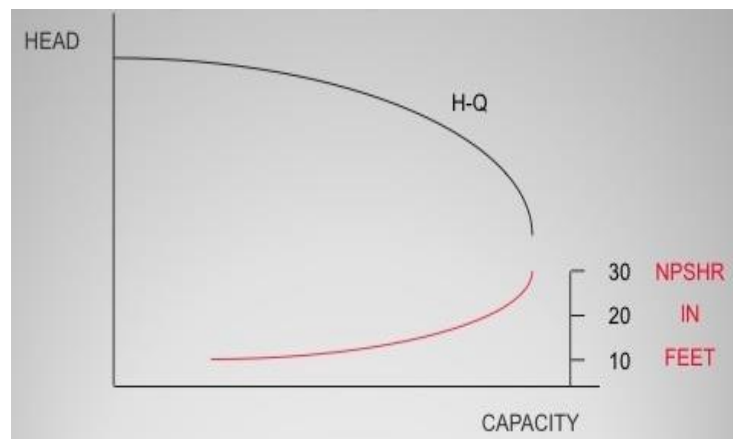
$$5 \text{ bhp} \times 0,72 = 3,6 \text{ bhp}$$

Informasi lain yang diberikan bersama kurva karakteristik pompa biasanya adalah **titik efisiensi hidrolik**-nya. *Best Efficiency Point*(BEP) / efisiensi hidrolik adalah efisiensi pompa yang sudah dikurangi dengan losses akibat efek hidrolik.



Gambar 2.25. Contoh Kuva Head VC Capacity Dimana Ditunjukkan Efisiensi Hidrolik Terbaik
Sumber :artikel-teknologi.com

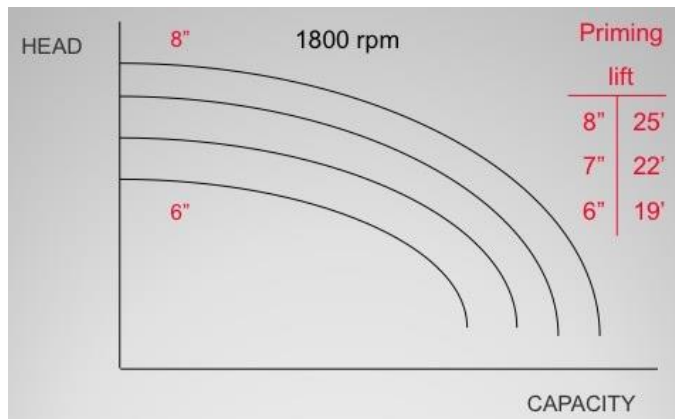
Parameter yang ketiga adalah *Net Positive Suction Head Required (NPSHR)*. NPSHR adalah sebuah parameter pompa yang nilainya didapatkan dari uji lab. NPSHR merupakan besaran yang menunjukkan losses dari internal pompa yang besarnya ditentukan oleh desain pompa, ukurannya, dan operasional putarannya.



Gambar 2.26. Kurva NPSHR Sebuah Pompa
Sumber :artikel-teknologi.com

Besar NPSHR dipengaruhi oleh besar putaran pompa saat digunakan pada sistem. Sedangkan putaran pompa tergantung dari desain sistem itu sendiri. Lain halnya dengan NPSH yang nilainya dipengaruhi langsung oleh desain sistem. Nilai NPSH (*Net Positive Suction Head*) harus selalu lebih tinggi daripada nilai NPSHR ini.

Kemampuan pompa dalam mengangkat air pada sisi inletnya (*priming lift*).

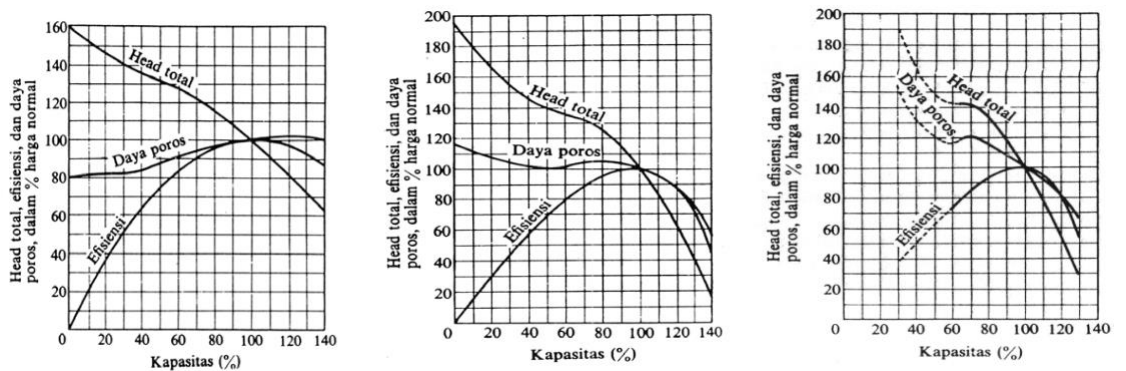


Gambar 2.27. Kurva Kemampuan Pompa Dalam Mengangkat Air Dari Kedalaman Tertentu

Sumber :artikel-teknologi.com

Pada kurva di atas ditunjukkan informasi kemampuan pompa dalam mengangkat air dari kedalaman tertentu pada setiap diameter impeller. Hal ini sangat penting terutama pada saat nanti melakukan pemilihan pompa untuk digunakan pada sebuah sistem.

Untuk setiap pompa, pabrik pembuatnya memberikan kurva karakteristik yang menunjukkan unjuk kerja pompa pada berbagai kondisi pemakaian. Karakteristik sebuah pompa digambarkan dalam kurva karakteristik menyatakan besarnya *head* total, daya pompa dan efisiensi pompa terhadap kapasitas. Berikut ini adalah contoh kurva karakteristik suatu pompa :

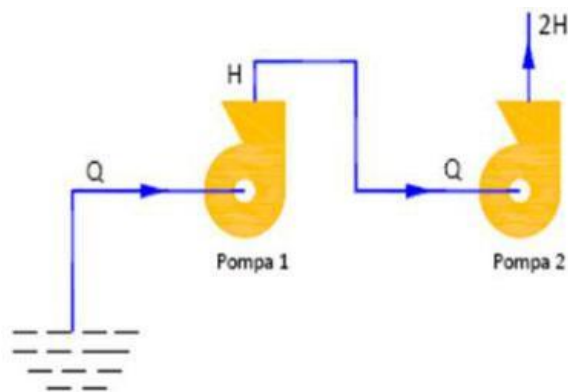


Gambar 2.28. Grafik karakteristik pompa dengan n_s kecil, sedang dan besar.

Sumber :Sularso,2000

Jika *head* atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara seri atau paralel.

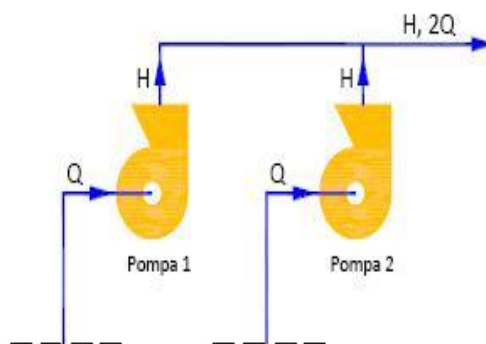
Bila *head* yang diperlukan besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa, maka dapat digunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri. Penyusunan pompa secara seri dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.29. Pompa Susunan Seri

Sumber :slideplayer.info

Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dipenuhi oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki. Penyusunan pompa secara paralel dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.30. Pompa Susunan Paralel
Sumber :slideplayer.info

Operasi paralel di mana masing-masing *suction* pompa dihubungkan dengan *header* utama, dan discharge ke *header* gabungan dan bekerjasama untuk menghasilkan *flow* pada *head* tetap.

Dalam operasi paralel umumnya sejumlah pompa digabungkan untuk menangani *fluktuasi flow* yang besar dari sistem. *Arrangement* ini banyak digunakan pada *water treatment* di mana air minum yang disuplai dari *plan treatment* ke sub-divisi akan terjadi fluktuasi besar sepanjang waktu. Pemakaian beberapa pompa dalam satu sistem memungkinkan pompa dihidupkan dan dimatikan sesuai kebutuhan untuk memenuhi variasi permintaan.

Kurva head dan kapasitas pompa disediakan oleh produsen. Perlu di ingat bahwa BEP (*Best Efficiency Point*) berada di antara 80% dan 85% dari maksimum head. Untuk memaksimalkan usia pompa perlu mengoperasikan pompa sedekat mungkin dengan BEP.

Pada masing-masing diagram menggunakan terminologi yang sama:

$H = \text{Head}$ (feet atau meter)

$Q = \text{Kapasitas}$ (gpm, m^3/hr)

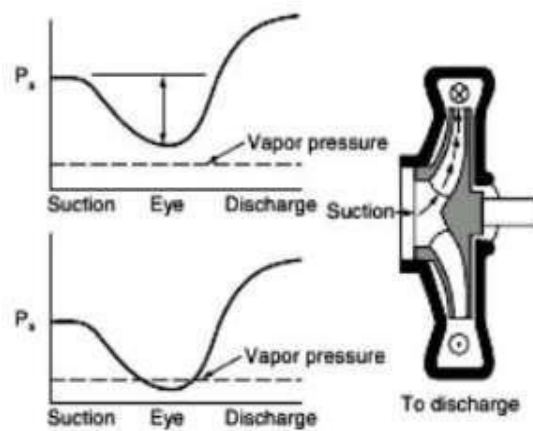
$S = \text{Kurva sistem}$ yang disediakan oleh konsumen

Pompa akan selalu bekerja pada kurva kecuali *clearance* dalam pompa sudah terlalu lebar. Apabila kapasitas pompa sentrifugal bertambah maka *head* akan berkurang dan sebaliknya apabila kapasitas berkurang maka *head* akan bertambah. Bila pompa bekerja di luar range pompa maka akan terjadi kavitasi karna kelebihan *flow*.

2.1.8Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya turun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Ketika zat cair terhisap pada sisi isap pompa, maka tekanan pada permukaan zat cair akan turun. Menurunnya tekanan hingga mencapai tekanan uap jenuhnya mengakibatkan cairan akan menguap dan membentuk gelembung uap. Selama bergerak sepanjang impeler, kenaikan tekanan akan menyebabkan gelembung uap pecah dan menumbuk permukaan pompa. Jika permukaan saluran/pipa terkena tumbukan gelembung uap tersebut secara terus menerus dalam jangka lama maka akan mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang pada dinding saluran atau sering disebut erosi kavitasi. timbulnya suara berisik, getaran dan turunnya performansi pompa.

Fenomena penurunan performansi pompa dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.31 dibawah ini.



Gambar 2.31. Fenomena penurunan performansi pompa
 Sumber : repository.unim.ac.id

2.1.9 Hukum Kesebangunan Pompa

Hukum ini dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja pompa, bila dioperasikan dengan kondisi yang berbeda, seperti jika salah satu kecepatan atau diameter pompa dirubah. Hukum tersebut adalah :

$$\frac{Q_1}{\omega_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{\omega_2 D_2^3} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$\frac{h_1}{\omega_1^2 D_1^2} = \frac{h_2}{\omega_2^2 D_2^2} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$\frac{P_1}{\omega_1^3 D_1^5} = \frac{P_2}{\omega_2^3 D_2^5} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana:

D = Diameter impeler (m)

Q = Laju aliran (m³/s)

H = Head total pompa (m)

P = Daya poros pompa (Watt)

n = Putaran pompa (rpm)

Indeks 1 dan 2 menyatakan pompa 1 dan pompa 2

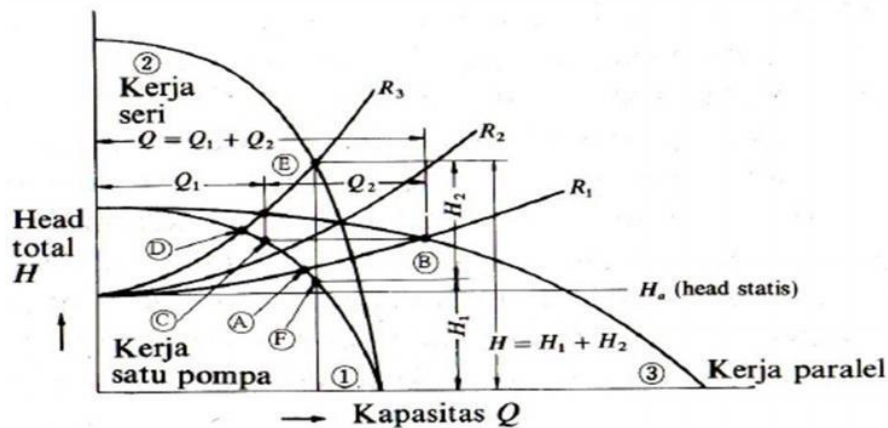
2.1.10 Operasi Pompa Seri dan Paralel

Pompa dapat kita pasang atau operasikan paralel atau seri, jika kita ingin menaikkan kapasitas pompa dapat kita operasikan Paralel. Sedangkan jika kita ingin menaikkan Head/ tekanan discharger pompa, kita dapat mengoperasikannya secara seri. Pompa pertama kita sebut pompa pengirim atau pompa utama, sementara pompa ke 2 kita sebut sebagai pompa Booster atau pompa peningkat tekanan.

Dalam mendesain (pararel/series) pompa, jumlah 2 atau lebih pompa sentrifugal disebut dengan multiple centrifugal pump. Dalam mendesain multiple centrifugal pump ini utamanya adalah ketika melakukan instalasi, sangatlah penting untuk memperhatikan hubungan antara kurva pompa (pump curve) dan kurva sistem perpipaan

Pada suatu kondisi, dimana kapasitas atau head yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka selanjutnya dapat digunakan dua pompa atau lebih untuk mencapai kondisi head dan kapasitas yang diperlukan, dengan merangkai pompa tersebut secara

seri maupun paralel. Gambar berikut ini menunjukkan kurva head – kapasitas dari pompa – pompa yang memiliki karakteristik yang sama.



Gambar 2.32. Operasi seri dan parallel dari pompa-pompa dengan karakteristik yang sama
 Sumber: Sularso,2000

Pada kurva karakteristik diatas menunjukkan pompa yang dipasang secara seri dan paralel. Dimana untuk pompa tunggal diberi tanda (1), pompa seri (2), dan pompa paralel (3). Ditunjukkan tiga buah kurva dari head-kapasitas sistem, yaitu R_1, R_2 , dan R_3 . Pada kurva R_3 , menunjukkan tahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan R_1 dan R_2 . Jika sistem memiliki kurva head-kapasitas R_3 , maka titik kerja pompa 1 akan terletak di D. Jika pompa disusun secara seri

sehingga menghasilkan kurva 2, maka titik kerjanya akan berpindah ke E yang tidak sama dengan dua kali lipat head di D, karena ada perubahan yang berupa kenaikan kapasitas. Jika sistem memiliki kurva head-kapasitas R_1 maka titikkerja pompa 1 akan terletak di A. Andaikan pompa disusun secara paralel sehingga menghasilkan kurva 3 maka titik kerjanya akan berpindah ke B, disini dapat terlihat bahwa kapasitas di titik B tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas pada titik A, karena ada perubahan kenaikan head sistem. Andaikan sistem memiliki kurva karakteristik seperti R_2 , maka laju aliran akan samauntuk susunan secara seri ataupun paralel. Akan tetapi jika karakteristik sistem adalah R_1 dan R_3 , maka akan diperlukan pompa susunan seri atau paralel. Jadirangkaian seri digunakan untuk menaikan head, sedangkan paralel berguna untuk menaikan kapasitas aliran (Sularso, 2000).

2.1.11 Pengatur Kecepatan (Dimmer)

Rangkaian pengatur kecepatan atau dimmer adalah sirkuit yang berfungsi mengatur kecepatan putaran motor listrik. Dengan mengatur kecepatan berputar, maka akan didapat putaran sesuai keinginan.

Rangkaian ini dibangun dengan prinsip dasar pemotongan gelombang AC. gelombang AC PLN adalah gelombang Sinusoidal dengan Amplitudo 220V. Dengan rangkaian ini gelombang AC dari PLN akan dipotong oleh kombinasi komponen DIAC dan TRIAC.

Pemotongan gelombang akan menghasilkan daya yang lebih kecil sehingga energi yang dihasilkan untuk putaran motor berkurang.

2.2 Tinjauan Pustaka

Ahmad Sufyan, Didit Sumardiyanto, MT(2017) Pada penelitian analisa perhitungan pompa sirkulasi WWTP limbah pada area painting steel di PT. Cakra Indopaint Cemerlang. Tujuan dalam analisa perhitungan pompa sirkulasi wwtp ini untuk mengetahui dan menentukan spesifikasi pompa yang dibutuhkan pompa seberapa besar daya pompa yang dipakai untuk mensirkulasikan air di area painting steel dengan menghitung spesifikasi pompa yang dipakai, kemudian membandingkan dengan perhitungan teoritis. Dari hasil perhitungan data yang didapat secara teoritis sebagai berikut : Head teoritis adalah sebesar 12,017 m sedangkan yang ada dilapangan sebesar 25 m yang dihitung dengan kapasitas yang sama 0,25 m³/min, dan daya motor penggerak teoritis 1,87 kW sedangkan yang terpasang dilapangan 12 kW.

Ardhy Widyan P (2015) Dalam penelitian ini telah direncanakan suatu pompa jenis sentrifugal. Dari data perencanaan pompa dengan kapasitas/debit 1.5m³/menit. Head pompa 21m berdasarkan perhitungan di lapangan dan putaran pompanya 1470 rpm. Digunakan persamaan empiris dapat ditentukan parameter utama perencanaan pompa yaitu kecepatan spesifik, jenis impeller, daya penggerak pompa, diameter poros, jumlah sudu impeller dan profil impeller. Perencanaan menghasilkan dimensi utama pompa yaitu pompa dengan dengan impeller jenis terbuka kecepatan spesifik :174 rpm, daya

penggerak pompa : 7.333 KW, sudut masuk sudu : 14.90, sudu ke luar sudu : 200, jumlah sudu impeller : 6 buah, diameter dalam : 53mm, diameter ke luar : 198 mm, diameter poros: 18 mm dan tebal sudu: 3 mm.

Budi Johan, Agus Wibowo, Irfan Santoso (2014) melakukan penelitian Variasi Tinggi Pipa Hisap Pada Pompa Terhadap Perubahan Kapasitas Aliran (Aplikasi pada penampungan ember tumpah *waterboom*). Penelitian ini menggunakan variasi 3 ketinggian yaitu 20 cm, 40 cm dan 60 cm. Hasil penelitian ini masing masing mendapatkan debit 0,0000511 m³/s pada tinggi pipa hisap 20 cm, 0,0000577 m³/s pada tinggi pipa hisap 40 cm, 0,0000567 m³/s pada tinggi pipa hisap 60 cm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada ketinggian 40 cm yang memiliki debit yang paling optimal.

Junedo Gandani Dongoran (2012) Penelitian analisa performansi pompa sentrifugal susunan tunggal, seri dan paralelbahwa hasil Pengujian karakteristik pompa menggunakan fluida air pada susunantnggal, seri dan paralel dengan spesifikasi yang sama, dapat diperoleh data sebagai berikut : debit maksimal terdapat pada pompa paralel yaitu sebesar 1,96 10⁻² m³/s dengan head total 8,05 m dan debit terendah pada pompa seri bukaan katup 40%-20% yaitu sebesar 0,36 10⁻² m³/s dengan head total 18,50 m Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa debit pada susunan paralel lebih besar daripada susunan tunggal maupun seri, karena pada susunan paralel kedua pompa sama-sama menghisap zat cair dari bak penampungan.

Edi Widodo, Indah Sulistyowati (2016) Penelitian Rekayasa performansi pompa sentrifugal untuk menurunkan head *loss* menggunakan pipa 1.5 inchi dan tube bundle 0.25 inchi dengan hasil bahwa Pengaruh penambahan tube bundle mampu menurunkan kecepatan fluida dan penurunan nilai head loss. Tekanan fluida dapat dipertahankan serta dampak dari belokan pipa dapat dikurangi, Nilai penurunan head loss yang tinggi pada pemasangan tube bundle yang dekat dengan belokan pipa sedangkan semakin jauh head loss yang terjadi menjadi besar, Tekanan fluida berbanding balik dengan kecepatan aliran.

Jenny Delly (2009) Penelitian ini memvariasikan temperature fluida yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya kavitasi pada sudu pompa sentrifugal. Didapatkan hasil semakin tinggi temperature, maka semakin besar kemungkinan terjadinya kavitasi pada sudu. Hal ini juga terjadi dengan semakin turunnya tekanan hisap. Intensitas kavitasi dapat dilihat dengan perubahan distribusi tekanan arah radial, angka kavitasi dan visualisasi gambar.

Masyhudi, Ahmad Zayadi, Basori (2014) Pembahasan masalah pompa sentrifugal ini juga bertujuan untuk mengetahui karakterisasi yaitu mencari head sebagai fungsi kapasitas, daya sebagai fungsi kapasitas, dan efisiensi sebagai fungsi kapasitas dengan metode yang meliputi : Studi literatur, perencanaan alat uji, perakitan alat uji, uji coba/pengambilan data, Analisis data hasil pengujian. Alat pengujian pompa sentrifugal ini menggunakan fluida yang mempunyai berat jenis 855 kg/m^3 . Dari hasil

percobaan yang telah dilakukan, diperoleh data antara lain adalah kapasitas rendah $0,36 \text{ m}^3/\text{h}$ yang terjadi pada putaran pompa 3080 rpm dan kapasitas tertinggi diperoleh sebesar $0,84 \text{ m}^3/\text{h}$ yang terjadi pada putaran pompa 3840 rpm, sedangkan head tertinggi yang dapat di capai adalah 33,92 m dan efisiensi tertinggi yg dihasilkan adalah 99.17 %. Dari hasil tersebut dapat di simpulkan bahwa alat uji fungsi pompa sentrifugal bahwa dengan kapasitas daya air dan koefisien gesek sistim pemipaan yang sama pada putaran poros yang bervariasi akibat perbedaan diameter pully penggerak pompa, dapat berpengaruh terhadap besar debit atau laju aliran fluida dan efisiensi pompa secara keseluruhan sehinggadapat dikatakan debit dan efisiensi pompa berbanding lurus dengan dengan putaran poros pompa.

M. Faisal Yamin (2016) melakukan penelitian pengujian pompa yang beroperasi pada alat uji pompa seri dan parallel. Pada penelitian ini menunjukkan grafik hubungan antara debit dan head pompa tunggal, seri dan parallel mendekati grafik operasi pompa seri dan parallel dengan karakteristik yang sama secara teori, tetapi terdapat sedikit penyimpangan antara hasil pengujian dengan teori, dimana untuk head yang dihasilkan pada pengoperasian pompa seri tidak sampai dua kali lipat head pompa tunggal.

Mustakim (2015) Unjuk kerja pompa sentrifugal banyak dipengaruhi oleh disain impeller, rumah pompa, laju aliran dan kecepatan sudut. Penelitian ini ingin mengetahui pengaruh kecepatan sudut terhadap pompa sentrifugal jenis tunggal. Variasi kecepatan sudut yang digunakan 999 rad/ s sampai 3000 rad/s. Jika kecepatan sudut pompa bertambah maka debit aliran

akan meningkat, ini sebabkan karna putaran poros pompa yang memutar impeller berputar semangkin tinggi sehingga air yang dipindahkan semakin banyak. Penambahan kecepatan sudut berbanding lurus terhadap kenaikan debit aliran, Semakin bertambah kecepatan sudut pompa maka head pompa akan semakin meningkat, ini disebabkan karna bertambahnya debit fluida yang mengalir yang mengakibatkan tekanan pada sisi discharge pompa semakin meningkat. Pada kecepatan sudut 3000 rad/s pompa dapat menghasilkan head hingga 12,28249744 m, Semakin bertambah kecepatan sudut maka efisiensinya semakin meningkat, ini disebabkan karena daya hidrolik pompa semakin meningkat dimana peningkatan daya hidrolik disebabkan karna kapasitas debit aliran yang bertambah dan head pompa yang semakin meningkat.

Raihan Bayu Dwantoro (2019) Dari penelitian Pengaruh Jumlah Sudu Impeler Terhadap Unjuk Kerja Pompa Sentrifugal ini kita dapat menyimpulkan :Performa / daya hidraulik tertinggi ada pada impeler dengan jumlah sudu 6 yaitu 0,065 kW dan nilai terendah ada pada impeler dengan jumlah sudu 4 yaitu 0,037 kW, Efisiensi tertinggi ada pada impeler dengan jumlah sudu 6 yaitu 85,52 % dan terendah ada pada impeler dengan jumlah sudu 4 yaitu 48,52 %

Riki Candra Putra (2018) Pada penelitian perancangan pompa sentrifugal dan diameter luar impeller untuk kebutuhan air kapasitas 60 LPM gedung F dan D di Universitas Muhammadiyah Tangerang, di objek penelitian digunakan pompa sentrifugal untuk mengambil air dalam tanah menuju ke

tendon air di atap gedung. Pada Gedung F dan gedung D di Universitas Muhammadiyah Tangerang diambil rata-rata kapasitas 60 LPM untuk kedua gedung, dan dilakukan perhitungan total *Head* sebesar 92,87 m berdasarkan panjang pipa dan kerugian-kerugian yang terjadi, sehingga didapat daya poros 2,6 kW pada gedung F dan gedung D, kemudian dapat ditentukan masing-masing daya motor penggerak dengan mengalikannya *safety factor* sebesar 1.15. Berdasarkan perbandingan antara daya poros dengan daya motor, maka nilai efisiensi untuk pompa F dan D adalah sebesar 35%. Untuk itu dapat diambil kesimpulan bahwa efisiensi pompa tersebut diambil agar *safety factor* pompa tersebut tinggi. Sehingga didapat hasil perhitungan diameter luar *impeller* sebesar 246 mm, yang merupakan acuan teoritis untuk ukuran diameter.

Rombe Allodan Allo S. Pongsapan(2018) pada penelitian upaya peningkatan unjuk kerja pompa sentrifugal dengan pemasangan *inducer* pada *lock nut impeller*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *inducer* pada *locknut impeller* terhadap karakteristik pompa sentrifugal tipe aliran radial yang menjadi objek penelitian. Disini yang dimaksud dengan karakteristik pompa adalah head, debit, dan efisiensi pompa. Kegiatan yang akan dilaksanakan pada riset ini meliputi perancangan dan perakitan alat pengujian pompa sederhana, pembuatan benda uji, pengambilan data, analisa dan pembahasan serta kesimpulan. Pada penelitian ini terdapat empat jenis pengujian, yakni: 1) Pompa sentrifugal tanpa modifikasi (normal); 2) Pompa modifikasi 1 dengan *inducer* berukuran panjang 25 mm; 3) Pompa modifikasi 2 dengan *inducer* berukuran panjang 50

mm; 4) Pompa modifikasi 3 dengan *inducer* berukuran panjang 75 mm. Penelitian menunjukkan bahwa modifikasi dapat memperbaiki karakteristik pompa sentrifugal yang menjadi objek penelitian dimana terjadi peningkatan head total (H_{tot}), debit (Q) dan efisiensi (η_p). Karakteristik terbaik diperoleh pada pompa modifikasi 2 dengan *inducer* berukuran panjang 50 mm, disusul oleh pompa modifikasi 3 dengan *inducer* berukuran 75 mm, pompa modifikasi 1 dengan *inducer* berukuran 25 mm dan yang terendah adalah pompa tanpa modifikasi (normal). Peningkatan karakteristik pompa sentrifugal tersebut disebabkan karena modifikasi dapat meminimalisir gejala *pre-rotation*, turbulensi, serta separasi aliran (terjadi perbaikan pola aliran di dalam pompa).

Sigit Nugroho, Wibawa .E.J, Dwi Aries Himawanto (2014) Penelitian pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja dan kavitasi pompa sentrifugal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh angka pisau pada kinerja impeller dan kavitasi di pompa sentrifugal. Penelitian ini menggunakan pompa NS Basic 13-18, impeller semi-terbuka GRUNDFOS dan beragam impeller blade 2, 3, 4, 5. Penelitian ini didasarkan pada metode API 610 hingga pertahankan kecepatan 2.760 rpm dan tekanan hisap konstan kemudian atur kapasitas. Parameter yang dihasilkan perhitungan adalah kepala, efisiensi total, NPSHR, dan angka-angka penting. Hasil penelitian ini menunjukkan meningkatkan jumlah blade meningkatkan head nilai dan efisiensi dalam pengujian kinerja. Sementara peningkatan jumlah pengujian kavitasi blade NPSHR. dan jumlah toma kritis (σ_c) semakin besar.

Sujatmiko (2015) Penelitian ini untuk mengetahui besartekanan yang dihasilkan oleh ketiga pemasangan pompa secara tunggal, seri dan paralel. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Malang, pengujian ini dilakukan dengan mengubah kedudukan Valve pada Instalasi perpipaan. Hasil yang didapat menunjukkan dari pompa tunggal bahwa semakin besar variasi bukaan Valve maka akan semakin besar pula Head yang dihasilkan dimana bukaan Valve 900 dan head 17,21 m. Untuk pompa seri bukaan Valve 900 dan Head 70,18 m. Untuk Pompa Paralel bukaan Valve 900 dan Headnya menurun 46,4 m.

Supardi (2015) Penelitian ini untuk mengetahuipengaruh variasi debit aliran dan pipa isap (section) terhadap karakteristik pompa sentrifugal secara paralel. Hasil yang didapat menunjukkan Pengaruh variasi diameter pipa isap pada pengujian ini berpengaruh pada Kapasitas (Q). Semakin besar diameter pipa isap yang digunakanmaka semakin besar pula kapasitas air yang dihasilkan. Pengaruh variasi debit aliran melalui bukaan katup berpengaruh pada Head (H) dan juga berpengaruh pada Kapasitas (Q). semakin kecil pengaturan bukaan katup maka Head yang dihasilkan semakin Besar. Sedangkan terjadi penurunan jumlah kapasitas Air.

Veri Tri Sutrisno (2010) Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif jenis pompa yang lebih sederhana, menggunakan pompa sentrifugal sederhana dengan 2 pipa output dan 1 pipa input. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adakah diameter pipa, head pompa dan putaran motor penggerak. Dimana berdasarkan data yang diperoleh dan pengolahan

datadidapatkan Debit maksimal adalah 12,89 liter/menit pada head 0,8 meter dan putaran 181 rpm, efisiensi tertinggi adalah 7,83% pada head 1,2 meter dan putaran 182 rpm, torsi tertinggi 1,96 N-m pada head 0,9 meter dan putaran 178 rpm.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Definisi Fluida

Definisi dari fluida adalah substansi yang mengalir karena antar partikel satu dengan lainnya bebas. Secara umum fluida dibagi menjadi fluida *compressible* (mampu mampat) dan *incompressible* (tak mampumampat). Karakteristik fluida bisa dijelaskan dengan properti fluida. Adapun property fluida yaitu temperatur, tekanan, masa, volume spesifik, dan kerapatan masa (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008).

Fluida lebih mudah mengalir dikarenakan oleh ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, yang mengakibatkan fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Pada zat cair dan gas, zat cair tidak dapat mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah. Zat gas tidak mempunyai bentuk, maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena suatu fase cair

dan gas tidak dapat mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Oleh karena itu zat cair dan gas sering secara kolektif disebut sebagai fluida. (Olson,1990)

Fluida ada dua jenis yaitu fluida mampu mampat dan fluida yang tak mampu mampat. Fluida mampu mampat adalah suatu fluida yang apabila diberi gayatekanan, maka volume dan suhunya akan mengalami perubahan. Salah satu contoh fluida mampu mampat adalah gas, sementara itu fluida tak mampu mampat yakni densitas fluida hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan yang besar terhadap tekanan dan suhu, contohnya adalah air.

2.1.2 Sifat Dasar Fluida

Untuk lebih memahami aliran fluida, maka harus mengetahui beberapa sifat-sifat dasar pada fluida. Adapun sifat-sifat dasar dari fluida yang perlu diketahui diantaranya yaitu kerapatan, tekanan dan kekentalan.

1. Kerapatan

Kerapatan (density) dapat diartikan sebagai ukuran konsentrasi suatu zat yang dinyatakan dalam massa per satuan volume. Pada volume fluida yang tetap, massa jenis suatu fluida tetap tidak berubah, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

v = volume fluida (m³)

m = massa fluida (kg)

ρ = rapat massa (kg/m³)

Massa jenis fluida bervariasi tergantung dari jenis fluida tersebut. Pada kondisi atmosfer, massa jenis air adalah 1000 kg/m³, massa jenis udara adalah 1,22 kg/m³. Untuk beberapa fluida, massa jenisnya tergantung pada tekanan dan temperatur dari fluida tersebut, khusus untuk fluida gas, perubahan keduanya akan sangat mempengaruhi massa jenis gas.

Sedangkan pada fluida cair, pengaruh keduanya kecil. Properti fluida yang lain yang berhubungan langsung dengan massa jenis adalah volume jenis, berat jenis dan *specific gravity*. Volume jenis merupakan kebalikan dari massa jenis yakni volume fluida dibagi dengan massanya. Sedangkan berat jenis adalah massa jenis fluida yang dikalikan dengan percepatan gravitasi atau berat fluida per satuan volume

$$\gamma = \rho \cdot g \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ = rapat massa (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Adapun untuk *specific gravity* ialah perbandingan antara massa jenis fluida dengan massa jenis air. Pada kondisi standar (4° C, 1 atm) massa jenis air adalah $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008)

$$S = \frac{\rho}{\rho_w} \dots\dots\dots (2.3)$$

ρ = rapat massa (kg/m³)

ρ_w = kerapatan air (kg/m³)

2. Tekanan

Jika permukaan suatu zat menerima gaya-gaya luar maka pada bagian permukaan zat yang menerima gaya tegak lurus akan mengalami tekanan. Bila gaya yang tegak lurus terhadap permukaan dibagi dengan luasan permukaan disebut dengan tekanan, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

P = tekanan (N/m², N/cm²)

A = luas penampang (m², cm²)

F = gaya (N)

Perlu diketahui dalam termodinamika, tekanan secara umum dinyatakan dalam harga absolutnya. Tekanan absolut tergantung pada tekanan pengukuran sistem. (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008). Bila tekanan pengukuran sistem diatas tekanan atmosfer, maka dapat dirumuskan :

$$p_{abs} = p_{gauge} + p_{atm} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

p_{abs} = Tekanan absolut

p_{gauge} = Tekanan pengukuran

p_{atm} = Tekanan atmosfer

Sedangkan, bila tekanan pengukuran dibawah tekanan atmosfer, maka dapat dirumuskan :

$$P_{abs} = p_{gauge} - p_{atm} \dots\dots\dots (2.6)$$

p_{abs} = Tekanan absolut

p_{gauge} = Tekanan pengukuran

p_{atm} = Tekanan atmosfer

3. Kekentalan

Kekentalan atau viskositas merupakan sifat fluida yang menunjukkan kemampuan fluida untuk mengalir. Fluida dengan viskositas yang besar lebih sulit untuk mengalir dibandingkan dengan fluida dengan viskositas yang kecil. Viskositas suatu fluida bergantung pada temperatur. Fluida memiliki viskositas yang besar pada temperatur yang tinggi, hal ini berkebalikan dengan fluida cair, dimana dengan kenaikan temperatur, viskositas zat cair itu semakin kecil.(Anis Samsudin dan Karnowo, 2008). Viskositas dibagi menjadi dua yaitu:

1) Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida, dirumuskan dengan :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad 81$$

$$\dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

τ = tegangan geser (N/m²)

du/dy = gradien kecepatan ((m/s)/m)

2) Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida, dapat dirumuskan dengan :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

v = viskositas kinematik (m²/s)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

ρ = kerapatan fluida (kg/m³)

2.1.3. Aliran Fluida

1. Klasifikasi aliran

Secara garis besar jenis aliran dapat dikelompokkan menjadi sebagai berikut(Olson, 1990) :

1) Aliran Tunak

aliran tunak yaitu suatu aliran dimana kecepatannya tidak dipengaruhi oleh perubahan waktu, sehingga untuk kecepatan konstan pada setiap titik (tidak memiliki percepatan).

2) Aliran Tidak Tunak

Aliran tidak tunak yakni suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

2. Tipe-tipe aliran

Kondisi aliran fluida sangat bergantung dari kecepatan aliran fluida, semakin tinggi kecepatan akan mempengaruhi pola aliran, kondisi aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Besaran yang dapat menghubungkan antara kecepatan aliran, kondisi fluida dan kondisi penampang diameter pipa adalah angka *Reynolds* (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008).

$$Re = \frac{V D \rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

V = kecepatan fluida (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = rapat massa fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

1) Aliran laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan satu lapisan meluncur dengan lancar. Aliran laminar memiliki kisaran nilai bilangan Renold kurang dari 2300 ($Re < 2300$).

2) Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel suatu fluida tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang kemudian mengakibatkan saling tukar momentum dari suatu bagian fluida ke bagian fluida yang lainnya dalam skala yang besar. Nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).

3) Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas suatu fluida, kecepatan fluida dan hal-hal lain yang berkaitan dengan geometri aliran, dimana aliran ini memiliki nilai bilangan Reynold antara 2300 sampai 4000 ($2300 < Re < 4000$).

2.1.4. Head

Head adalah suatu bentuk energi yang dinyatakan dalam satuan panjang (m) dalam SI (Anis Samsudin dan Karnowo, 2008).

Head terdiri dari head ketinggian (Z), head kecepatan $\frac{v^2}{2g}$,

dan head tekanan $\frac{p}{\rho g}$. 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) air tersebut.

1. Head Total Pompa

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa tersebut (Sularso, 2000). Head total pompa dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

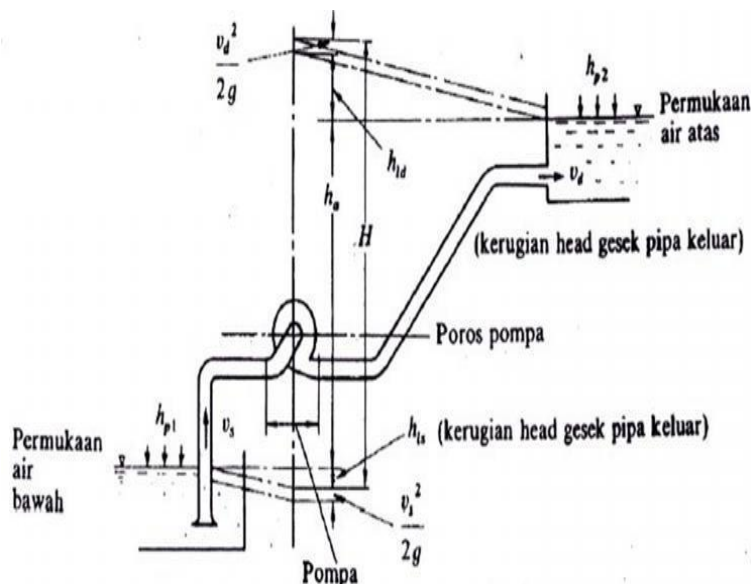
H = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total (m)

h_p = beda head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

h_l = Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan (m)

$\frac{v^2}{2g}$ = Head kecepatan keluar (m)



Gambar 2.1. Instalasi pompa dan head total
 Sumber: ebitfrista.wordpress.com

Dalam hal pompa menerima energi dari aliran yang masuk ke sisi isapnya, seperti pada pompa penguat atau pompa *booster*, maka head total pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{1}{2g}(v_d^2 - v_s^2) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

H = Head total pompa (m)

h_a = Perbedaan tinggi antara titik sembarang A di pipa keluar dan sembarang titik B di pipa isap (m)

Δh_p = Perbedaan tekanan statis antara titik A dan titik B (m)

h_l = Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan (m)

v_d = Kecepatan aliran rata-rata di titik A (m/s)

v_s = Kecepatan aliran rata-rata di titik B (m/s)

Apabila permukaan air yang berubah-ubah dengan perbedaan yang besar, maka head statis total harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik pompa, besarnya adalah selisih perubahan permukaan air, dandasar yang dipakai untuk menentukan jumlah air yang harus dipompa.

Hubungan antara tekanan dan head tekanan dapat dirumuskan :

$$H_p = \frac{\Delta p}{\gamma_{air}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

H_p = Head Tekanan (m)

Δ_p = Tekanan (Pa)

γ = Berat per satuan volume zat cair yang dipompa (N/m^3)

2. Head Kerugian (*Head Loss*)

Head kerugian adalah head untuk mengatasi kerugian-kerugian yang terdiri dari kerugian gesek aliran dalam pipa, dan head kerugian di dalam belokan, percabangan dan perkatupan.

1) Kerugian Mayor

Kerugian dalam pipa atau bisa disebut *major losses* adalah kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran di sepanjang pipa. Untuk menghitung kerugian gesek dapat dirumuskan sebagai berikut (Fox dan Mc Donald, 1995):

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

H_f = Kerugian gesek dalam pipa (m)

f = Koefisien kerugian gesek

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2) Kerugian Head Dalam Jalur Pipa

Pada saat aliran fluida mengalami gangguan aliran yang menyebabkan kurangnya energi aliran, hal ini dapat disebut sebagai head kerugian dalam jalur pipa. Secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H_f = f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

h_f = Kerugian gesek dalam pipa (m)

g = Koefisien kerugian

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Kerugian head ini sering terjadi pada :

a. Pada belokan (*elbow*)

Pada belokan lengkung koefisien kerugian dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$f = [0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5}] + \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \dots\dots (2.15)$$

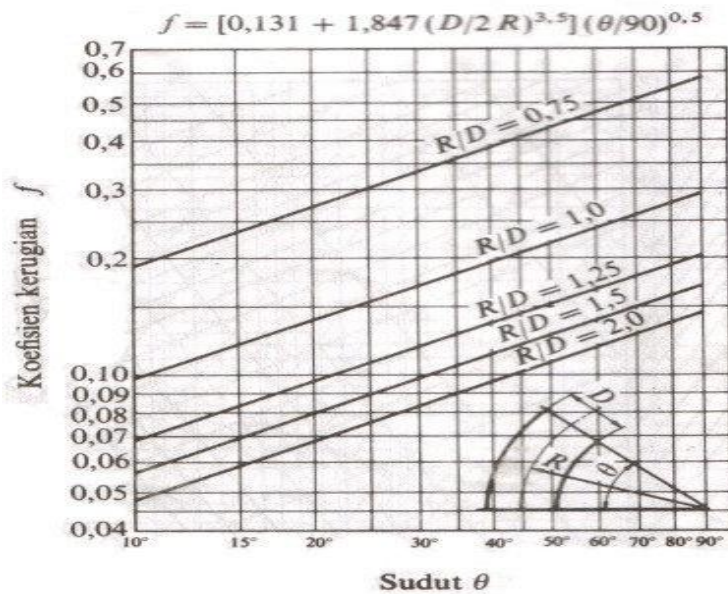
Dimana :

D = Diameter dalam pipa (m)

R = Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

θ = Sudut belokan (°)

g = Koefisien kerugian



Gambar 2.2. Koefisien kerugian pada belokan
 Sumber: Sularso, 2000 hal 34

Sementara itu, untuk belokan patah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

θ = Sudut belokan

f = Koefisien kerugian

Tabel 2.1 Koefisien kerugian belokan pipa

θ°		5	10	15	22.5	30	45	60	90
f	Halus	0.016	0.034	0.042	0.066	0.130	0.236	0.471	1.129
	kasar	0.024	0.44	0.062	0.154	0.165	0.320	0.684	1.628

Sumber: Sularso, 2000 hal 34

b. Pada perkatupan sepanjang jalur pipa

Pemasangan katup atau biasa disebut *valve* merupakan suatu hal yang sangat penting untuk mengontrol kapasitas fluida, akan tetapi dengan pemasangan katup tersebut akan mengakibatkan kerugian energi aliran, hal ini dikarenakan aliran tercekik. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung kerugian head karena pemasangan katup adalah sebagai berikut :

$$h_v = f_v \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

h_v = Kerugian head pada katup (m)

f_v = Koefisien kerugian katup

w = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.1.5. Teori Dasar Pompa

1. Definisi Pompa

Pompa adalah salah satu jenis mesin fluida yang termasuk golongan mesin kerja. Pompa digunakan untuk mengalirkan atau memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Prinsip kerja pompa adalah menghisap dan melakukan penekanan

terhadap fluida. Dalam fungsinya, pompa mengubah energi gerak poros untuk kemudian menggerakkan sudu-sudu menjadi energi gerak dan tekanan pada fluida. Pada umumnya pompa dipergunakan untuk menaikkan fluida dari sebuah reservoir, pengairan, pengisi ketel dan sebagainya.

Dalam pelaksanaan operasionalnya pompa dapat bekerja secara tunggal, seri maupun paralel yang kesemuanya tergantung pada kebutuhan (Edwards, 1996).

2. Klasifikasi Pompa

Menurut prinsip kerjanya, pompa diklasifikasikan menjadi:

1) Pompa Perpindahan Positif

Pompa ini menghasilkan head yang tinggi dengan kapasitas yang rendah, perubahan energi yang terjadi pada pompa jenis ini adalah energi mekanik yang diubah langsung menjadi energi potensial, yang termasuk pompa perpindahan positif adalah sebagai berikut:

a. Pompa Piston

Pompa jenis perpindahan positif banyak digunakan untuk melayani sistem instalasi yang membutuhkan head yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa jenis ini menghasilkan tekanan tinggi dengan kecepatan aliran yang rendah. Dengan alasan tersebut pompa ini banyak digunakan untuk peralatan dengan zat cair yang abrasif dan

kekentalan tinggi. Namun, secara umum pompa perpindahan positif dibagi mejadi dua yaitu jenis gerak bolak-balik (*reciprocating*) dan gerak putar (*rotary*).

b. Pompa Roda Gigi

Prinsip kerja dari pompa roda gigi ini adalah berputarnya dua buah roda gigi yang berpasangan yang terletak antara rumah pompa dan menghisap dan menekan fluida yang akan mengisi ruangan antar roda gigi yang kemudian ditekan ke sisi buang sebagai akibat terisinya ruang antar roda gigi pemasangannya. Pompa jenis ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan head yang tinggi dengan kapasitas aliran yang rendah.

c. Pompa Torak

Pompa ini melakukan gerakan isap terbuka dan katup tekan tertutup. Pada saat torak mulai melakukan gerakan tekan, katup isap akan tertutup dan katup tekan terbuka. Kemudian fluida yang tadinya terhisap dibuang pada katup tekan. Pompa ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan head yang tinggi dengan kapasitas yang rendah, salah satu contoh aplikasinya pompa ini digunakan untuk pemenuhan tenaga hidrolis.

2) Pompa Dinamik

Pompa dinamik adalah pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan satu impeller yang berputar dengan kecepatan yang tinggi. Fluida masuk pada sisi hisap yang kemudian dipercepat oleh impeler yang menaikkan kecepatan absolut fluida maupun tekanannya dan melemparkan fluida tersebut melalui *volute*, yang termasuk jenis pompa dinamik adalah sebagai berikut (Dietzel, 1980) :

a. Pompa Aksial

Impeller berputar yang kemudian menghisap fluida yang akan dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa jenis ini biasanya diproduksi untuk kebutuhan head yang rendah dengankapasitas aliran yang besar, dalam aplikasinya pompa ini biasanya digunakan untuk keperluan irigasi.

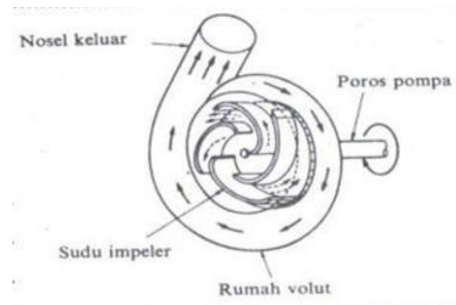
b. Pompa Sentrifugal

Pompa ini terdiri dari satu atau lebih impeller yang dilengkapi dengan sudu-sudu pada poros yang berputar yang diselubungi oleh *casing*. Fluida dihisap pompa melalui sisi hisap, akibat berputarnya impeller yang menghasilkan tekanan vakum, pada sisi hisap selanjutnya fluida tersebut

terlempar ke luar impeller akibat gaya sentrifugal yang dimiliki oleh fluida.

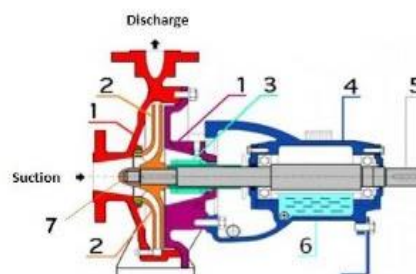
3. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal digunakan untuk memberikan atau menambah kecepatan pada cairan dan kemudian merubahnya menjadi energi tekan. Cairan dipaksa masuk ke sebuah impeller. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeller yang ada berada dalam cairan tadi. Apabila impeller berputar maka zat cair yang ada dalam impeller akan ikut berputar akibat dorongan sudu – sudu pada impeller. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller menuju keluar melalui saluran diantara sudu – sudu dengan kecepatan tinggi. Zat cair yang meninggalkan impeller tersebut dikumpulkan di dalam rumah pompa (*casing*) yang berbentuk spiral atau biasanya disebut volut yang tugasnya mengumpulkan cairan dari impeller dan mengarahkan ke *discharge nozzle*. *Dischargenozzel* berbentuk seperti kerucut sehingga kecepatan aliran yang tinggi dari impeller bertahap turun, kerucut ini disebut *diffuser*. Pada waktu penurunan kecepatan di dalam *diffuser* energi kecepatan pada aliran cairan diubah menjadi energi tekan. Jadi impeller pompa berfungsi memberikan kerja pada zat cair sehingga energi yang dikandungnya akan menjadi lebih besar (Sularso, 2000).



Gambar 2.3. Bagian aliran fluida dalam pompa sentrifugal
 Sumber: Sularso,2000 Hal 4

Pompa sentrifugal adalah suatu mesin kinetis yang mengubah energi mekanik menjadi energi fluida menggunakan gaya sentrifugal (Sularso, 2000), pompa sentrifugal terdiri dari sebuah cakram dan terdapat sudu-sudu, arah putaran sudu-sudu itu biasanya dibelokkan ke belakang terhadap arah putaran.



Gambar 2.4. Bagian bagian pompa sentrifugal
 Sumber: teknikmesinzone.blogspot.com

Keterangan :

1) *Casing*

Komponen utamapertama dari pompa sentrifugal adalah *casing* pompa. *Casing* pompa sentrifugal didesain berbentuk sebuah diffuser yang mengelilingi impeller pompa. Diffuser ini

lebih sering dikenal sebagai *volute casing*. Sesuai dengan fungsi diffuser, *volute casing* berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran (*flow*) fluida yang masuk ke dalam pompa. Menuju sisi outlet pompa, *volute casing* didesain membentuk corong yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kinetik menjadi tekanan dengan jalan menurunkan kecepatan dan menaikkan tekanan, hal ini juga membantu menyeimbangkan tekanan hidrolis pada *shaft* pompa.



Gambar 2.5. Casing pompa sentrifugal

Sumber: sekedartulisanweb.wordpress.com

2) *Impeller*

Impeller* pompa air adalah** bagian pada **pompa air** yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang kemudian diteruskan pada daya **pompa**, dan akibat adanya efisiensi (timbul kerugian berupa gesekan cairan) karena perubahan arah aliran yang terdapat pada sudu-sudu ***impeller.

Penggolongan *impeller* sendiri dapat dibedakan dari arah alirannya, yaitu sebagai berikut.

a. Aliran radial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran radial adalah tegak lurus terhadap poros dan head yang timbul disebabkan dari gaya sentrifugal itu sendiri. Pompa aliran radial mempunyai head yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pompa jenis yang lain.

b. Aliran aksial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran aksial terletak pada bidang yang sejajar dengan sumbu poros dan head yang timbul akibat dari besarnya gaya angkat dari sudu-sudu geraknya. Pompa aliran aksial mempunyai head yang lebih rendah tetapi kapasitasnya lebih besar

c. Aliran campuran

Pada pompa ini fluida yang masuk sejajar dengan sumbu poros dan keluar sudu dengan arah miring (merupakan perpaduan dari pompa aliran radial dan pompa aliran aksial). Pompa ini mempunyai head yang lebih rendah namun mempunyai kapasitas lebih besar.

Jenis hisapan juga dapat menjadi klasifikasi karena ada jenis hisapan tunggal dan juga jenis hisapan ganda. Impeller juga dapat digolongkan berdasarkan konstruksi mekaniknya.

Namun, kita dapat mengenal berbagai jenis impeller sebagai berikut:

a) Jenis impeller *Closed Impeller*

Umum digunakan pada pompa yang aliran air bersih. Biasanya sering digunakan di rumah tangga/domestik.



Gambar 2.6. Impeler tertutup

Sumber: uripgumulya.com/berbagai-komponen-dalam-pompa-sentrifugal

b) Jenis Impeller Terbuka dan Semi Terbuka

Dengan kondisinya yang terbuka atau semi terbuka, maka kemungkinan adanya sumbatan pun jauh berkurang. Umumnya jenis ini digunakan untuk mengaliri air. Air juga bermacam-macam ada air bersih, air kotor dan ada juga aplikasi industri untuk mengedarkan lumpur atau air limbah

atau untuk mengalirkan air hujan dari lubang lubang atau laguna limbah penyimpanan. Karena itu ada jenis impeler **open impeller** khususnya digunakan untuk mengaliri limbah pembuangan dan lumpur.

Pompa dengan open impeller umumnya cukup mahal dan kemampuannya besar untuk mengaliri aliran yang *viscosity* tinggi, dan berat. Namun, jenis impeller ini hanya dapat diatur secara manual untuk mendapatkan setelan terbaik.



Gambar 2.7. Impeler semi terbuka

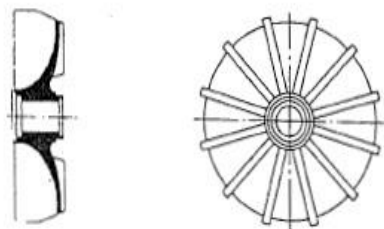
Sumber: uripgumulya.com/berbagai-komponen-dalam-pompa-sentrifugal



Gambar 2.8. Impeler terbuka
Sumber: uripgumulya.com/berbagai-komponen-dalam-pompa-sentrifugal

c) Impeler **pomp** berpusar/*vortex*

Untuk pompa yang digunakan untuk bahan-bahan yang lebih padat ataupun berserabut dari fluida cair, impeller *vortex* dapat menjadi pilihan yang baik. Namun sayangnya, pompa jenis ini 50% kurang efisien dari rancangan konvensional.



Gambar 2.9. Impeler vortex
Sumber: ksbforblog.blogspot.com

d) Cutting Impeler

Impeller ini umumnya digunakan untuk pompa yang akan mengalir berbagai macam sampah-sampah organik dan non organik dan untuk limbah-limbah. Biasanya ditemukan di gedung, hotel, pabrik. Karena terkadang sampah-sampah dari pembuangan saluran air diikuti oleh berbagai macam sampah yang akan di potong-potong oleh impeller pemotong sehingga tidak merusak pompa air limbahnya.



Gambar 2.10. Impeler cutting

Sumber: www.google.com/search?q=impeller+cutting

3) *Shaft Seal*

Seal adalah perapat bagian pompa untuk memastikan tidak ada kebocoran dalam pompa dan antar komponen yang di sambungkannya. Dalam memperhatikan *mechanical seal* akan

lebih efektif pada kondisi pompa air yang sedang anda jalankan. Dengan begitu pompa air tersebut apabila tidak terjadi kebocoran maka mechanical seal tersebut aman. Namun ada yang perlu anda perhatikan dalam faktor dan penyebab terjadi kebocoran pada mechanical seal pompa air :

- a. Terlalu cepat dalam putaran
- b. Permukaan komponen Seal adanya sedikit kekasaran
- c. Diameter Shaft



Sum

[.com](#)

4) *Bearing Housing*

Bearing atau bantalan berfungsi untuk menumpu atau menahan beban dari poros agar dapat berputar. *Bearing* juga berfungsi untuk memperlancar putaran poros dan menahan poros agar tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek dapat diperkecil. Sedangkan *housing* sendiri berasal dari Inggris yang



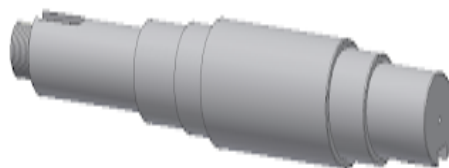
artinya rumah. Jadi *bearing housing* adalah rumah/tempat bearing atau sering juga disebut bantalan



Gambar 2.12. *Bearing Housing*
Sumber: industryoleochemical.blogspot.com

5) *Shaft*

Shaft (poros) merupakan komponen penghubung antara pompa dengan impeller untuk menyambungkan energi ke impeller untuk memutar impeller.



Gambar 2.13. *Shaft* pompa
Sumber: macammakati.blogspot.com

6) *Lubricating Reservoir*

Adalah tempat untuk pengisian pelumas, pelumas yang digunakan adalah oli

7) *Eye Of Impeler*

Eye of impeler atau bisa juga disebut mata impeler adalah bagian depan dari impeler



Gambar 2.14. Mata impeler
Sumber: www.klikteknik.com

2.1.6. Hukum Kekekalan Energi

Persamaan energi untuk aliran lunak pada pompa air yang masuk sistem di titik 1 dan keluar sistem di titik 2 dengan mengabaikan rugi-

rugi energi (karena sangat kecil) yang diakibatkan oleh gesekan fluida di dalam saluran (White, Frank M.,1979, p.162)

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} V_1^2 + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} V_2^2 + z_2 - h_p \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

P = Tekanan fluida (watt)

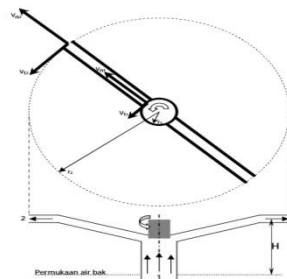
ρ = massa jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

z = tinggi titik (m)

h= tinggi tekan (head) pompa air (m)



Gambar 2.15. Arah aliran fluida pada pompa sentrifugal
Sumber: artikel-teknologi.com

1.Gaya Sentrifugal

Setiap benda yang bergerak membentuk lintasan lingkaran harus tetap diberikan gaya agar benda tersebut terus berputar.

(Halliday.,Resnick, 1985:84). Pada pompa sentrifugal, pompa diputar secara terus menerus untuk menghasilkan gaya sentrifugal.

Besarnya gaya tersebut, dapat dihitung dengan Hukum II Newton untuk komponen radial :

$$\sum F = m \cdot a \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\sum F_R = m \cdot a_r \dots\dots\dots(2.20)$$

$$= m \frac{v^2}{r}$$

Dengan :

m = Massa Benda (kg)

a_r = Percepatan Sentripetal (m/s²)

r = Jari Jari (m)

2. Persamaan Persamaan Yang Bekerja Pada Pompa

1)Debit air yang dihasilkan pompa :

Dengan menggunakan metode bucket, maka didapat volume air yang dihasilkan pompa per satuan waktu. Debit digunakan untuk menghitung besar daya yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal. Debit air yang dihasilkan pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan :

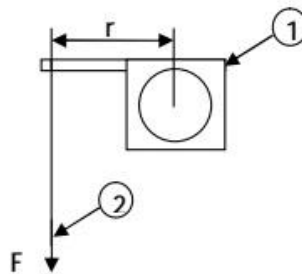
$$Q = \text{Daya } (l/m)$$

$$v = \text{Volume air } (l)$$

$$t = \text{Waktu } (m)$$

2)Torsi

Torsi atau momen putar adalah hasil perkalian antara gaya dengan panjang lengan gaya. (Soedarjana,1962). Torsi yang dihasilkan oleh poros digunakan untuk menghitung besar daya yang dihasilkan oleh poros

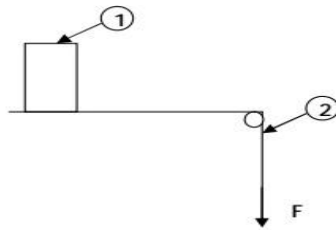


Gambar 2.16. Tampak atas menghitung torsi pompa sentrifugal
Sumber:taufiqurrokhman.wordpress.com

Keterangan gambar :

1. Motor listrik

2. Tali



Gambar 2.17. Tampak samping menghitung torsi pompa
 Sumber: taufiqurrokhman.wordpress.com

Torsi yang dihasilkan pompa dapat dihitung dengan persamaan :

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan :

F = Gaya yang bekerja pada pompa (N)

r = Panjang lengan gaya (m)

3) Daya Hidraulik (Nh)

Daya hidraulik adalah daya yang secara efektif diterima oleh fluida dari pompa per satuan waktu. (Sularso, 2000)

$$Nh = \rho Q H g \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan :

Nh = Daya Hidraulik (kW)

Q = Debit Aliran (m^3/det)

H = Head Total Pompa (m)

ρ = Berat Jenis (kg/m^3)

4) Daya Pompa (N_p)

Daya pompa adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan poros pompa. (Ir. Najamudin, MT, 2014)

$$N_p = T \cdot \omega \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana :

N_p = Daya Pompa (kW)

T = Momen Torsi (N.m)

ω = Kecepatan Sudut

$$= 2 \pi n / 60$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot n / 60$$

n = Putaran Poros (rpm)

5) Head

Seringkali banyak yang bingung ketika bertemu dengan kata-kata head pada saat belajar pompa. Yang perlu kita ketahui, head itu berhubungan dengan tekanan, selain itu berhubungan juga dengan perbedaan ketinggian permukaan fluida dari tempat asal yang ingin di pompa ke tempat tujuan pompa tersebut. Coba anggap saja head itu energi dalam satuan jarak, jadi misalnya pompa ingin mengalirkan air dengan perbedaan ketinggian

sebesar 20 meter, maka diperlukan total head pompa sebesar 20 meter.

$$\text{Head total} = H_p + H_v + H_a + H_L \dots\dots\dots(2.25)$$

Head total adalah total head yang akan dihasilkan oleh pompa.

Head tekanan adalah head dari perbedaan tekanan discharge dan suction

Head kecepatan yaitu dari perbedaan kecepatan discharge dan suction.

Head statik yaitu dari perbedaan ketinggian permukaan air dari sisi tempat suction dan tempat discharge.

Head loss adalah head yang hilang disebabkan adanya gaya gesek antara fluida dengan pipa.

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}}{\rho g} \right) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\text{Head Kecepatan} = \left(\frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan :

H = Head (meter)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg / m^3)

V_d = kecepatan fluida pada bagian discharge pompa. (m/s)

V_s = kecepatan fluida pada bagian suction pompa. (m/s)

P_d = Tekanan saat fluida keluar dari pompa.

P_s = Tekanan saat fluida masuk ke pompa.

(1 bar = 1.0197 kg/cm²) 1 bar = 10 Pascal (Pascal = N/m²)

Keduanya dapat dicari menggunakan pressure gauge yang terpasang pada sisi suction dan discharge pada pompa.

Jika tidak ada data yang menampilkan keduanya, maka dapat dicari menggunakan Debit (Q) dan diameter dari pompa bagian discharge dan suction (D discharge dan D suction)

$$Q = V_d \cdot A_d = V_s \cdot A_s \dots \dots \dots (2.28)$$

Dengan :

Q = Debit aliran (m³/s)

V_d = kecepatan fluida pada bagian discharge pompa. (m/s)

V_s = kecepatan fluida pada bagian suction pompa. (m/s)

A = Luas penampang (m²)

$$H_f = \left(f \frac{l V^2}{d 2 g} \right) \dots \dots \dots (2.29)$$

Dengan :

H_f = Head Losses Mayor (m)

f = friction factor

l = panjang pipa / panjang jarak yang ditempuh fluida dari sisi suction sampai discharge (m)

v = kecepatan rata-rata dari fluida (m/s)

d = diameter dari pompa (m)

g = percepatan gravitasi (kg/m²)

Untuk mencari head loss mayor, pertama-tama kita harus tau jenis aliran (laminar/turbulance) dan besarnya bilangan Reynolds untuk mendapatkan friction factornya (f)

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dengan :

v = kecepatan fluida (m/s)

l = panjang pipa (m)

ρ = massa jenis (kg/m³)

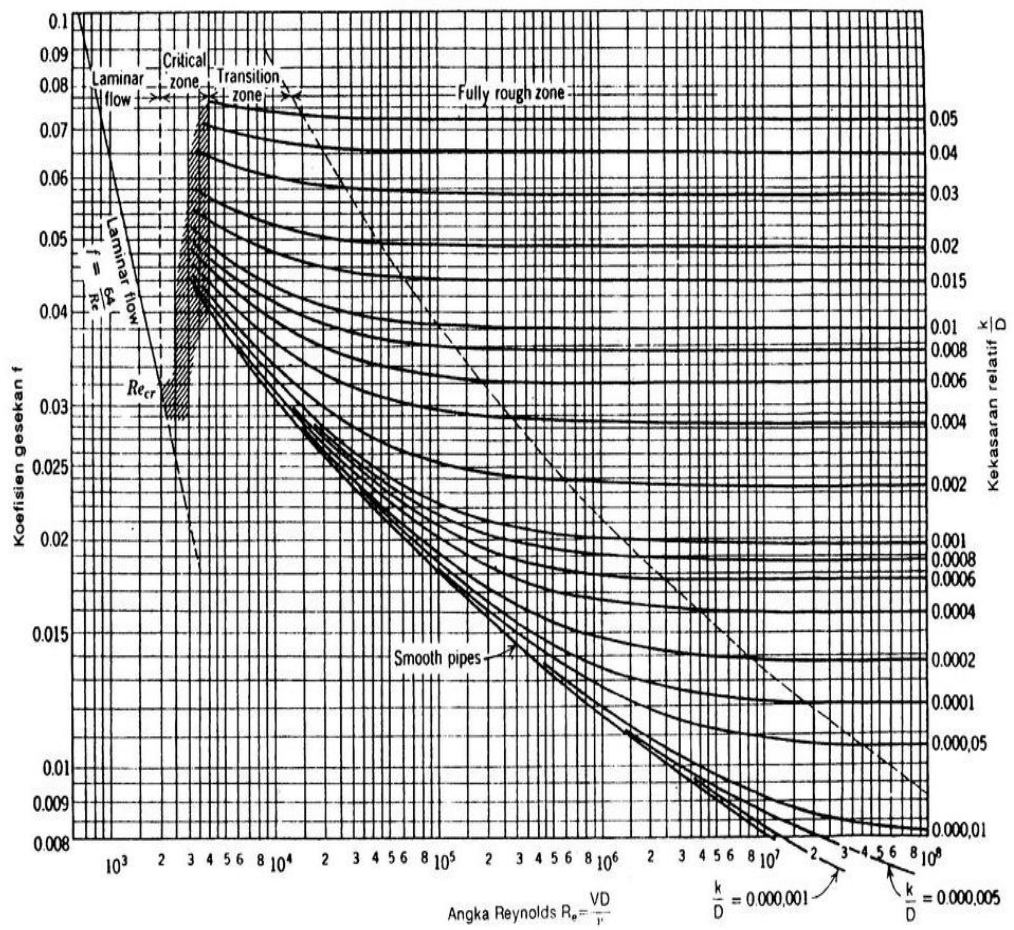
μ = viskositas dinamis (m²/s)

ν = viskositas kinematik (m²/s)

Jika Re nya kurang dari 2000, maka alirannya laminar, dan friction factor dapat dicari dengan rumus :

$$\text{Friction faktor} = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots (2.31)$$

Jika Re nya lebih dari 4000 maka nilai friction factor bisa dicari pada diagram moody.



Gambar 2.18. Tabel diagram moody
 Sumber :slideplayer.info

$$h=K \frac{V^2}{2.g} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan :

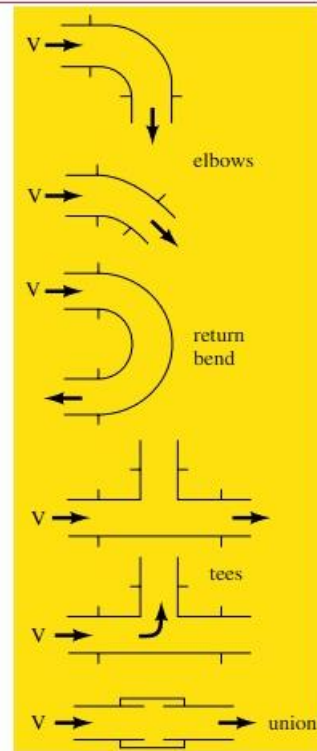
h = Head Loss Minor (m)

k = Koefisien gesekan

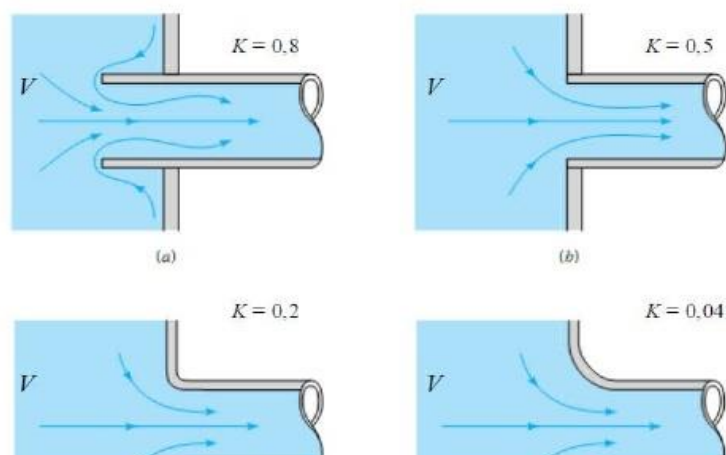
v^2 = Kecepatan rata-rata

Sedangkan nilai K dapat kita temukan pada gambar berikut ini

Component	K_L
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0
d. Union, threaded	0.08
e. Valves	
Globe, fully open	10
Angle, fully open	2
Gate, fully open	0.15
Ball valve, fully open	0.05



Gambar 2.19. Nilai K pada instalasi pipa
 Sumber :kurniawan –mechanicalui09.blogspot.com



Gambar 2.20. Nilai K pada penyempitan pipa

Sumber :document.tips .com

Jadi total losses dapat dicari dengan cara :

$H_L = \text{Head loss mayor} + \text{Head loss minor}$

$$h = k \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dengan :

$h = \text{Head Loss Minor (m)}$

$n = \text{Jumlah fitting}$

$k = \text{Koefisien gesekan}$

$V = \text{Kecepatan rata rata (m/s)}$

Jadi total losses dapat dicari dengan cara :

$H_L = \text{Head loss mayor} + \text{Head loss minor}$

6) Efisiensi pompa

Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan karena ada sebagian energi kinetik yang hilang dalam bentuk *losses* atau kerugian. Efisiensi pompa adalah suatu faktor yang dipergunakan untuk menghitung *losses* ini.

Efisiensi pompa terdiri dari :

1. Efisiensi hidrolis, memperhitungkan *losses* akibat gesekan antara cairan dengan impeler dan losis akibat perubahan arah yang tiba-tiba pada impeler.
2. Efisiensi volumetris, memperhitungkan *losses* akibat resirkulasi pada ring, bushing, dll.
3. Efisiensi mekanis, memperhitungkan losis akibat gesekan pada *seal, packing gland, bantalan, dll.*

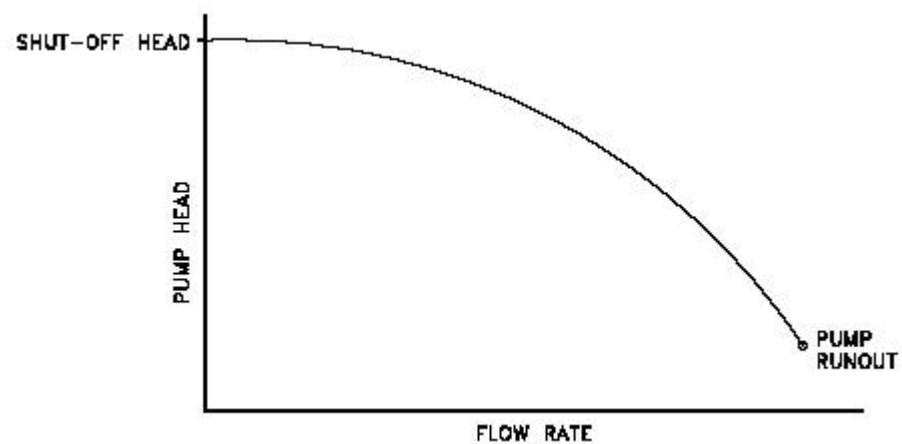
Setiap pompa dirancang pada kapasitas dan *head* tertentu, meskipun dapat juga dioperasikan pada kapasitas dan *head* yang lain. Efisiensi pompa akan mencapai maksimum pada *designed point* tersebut, yang dinamakan dengan titik BEP. Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiensinya akan lebih rendah.

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

$$\text{Efisiensi} = \frac{N_h}{N_p} \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.34)$$

2.1.7 Performansi Pompa

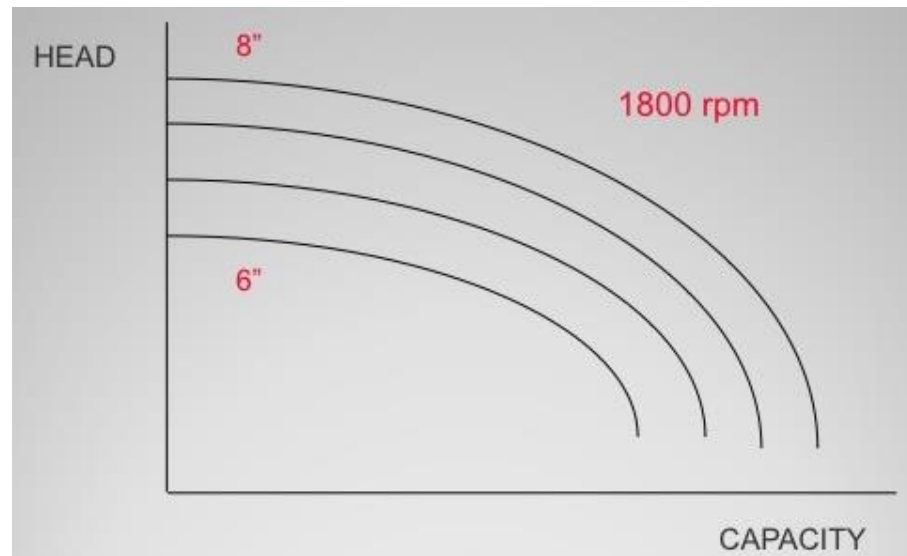
Setiap pompa yang dibuat oleh produsen memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi dan desain pembuatannya. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran besar dan desain pompa, ukuran dari diameter impeler, serta besar putaran operasionalnya. Karakteristik sebuah pompa ditunjukkan melalui sebuah kurva Head vs. Debit pompa.



Gambar 2.21. Kurva Head VS Debit Pompa
Sumber : artikel-teknologi.com

Kurva karakteristik pompa di atas juga biasa dikenal di dunia *engineering* dan industri sebagai Kurva Performa Pompa.

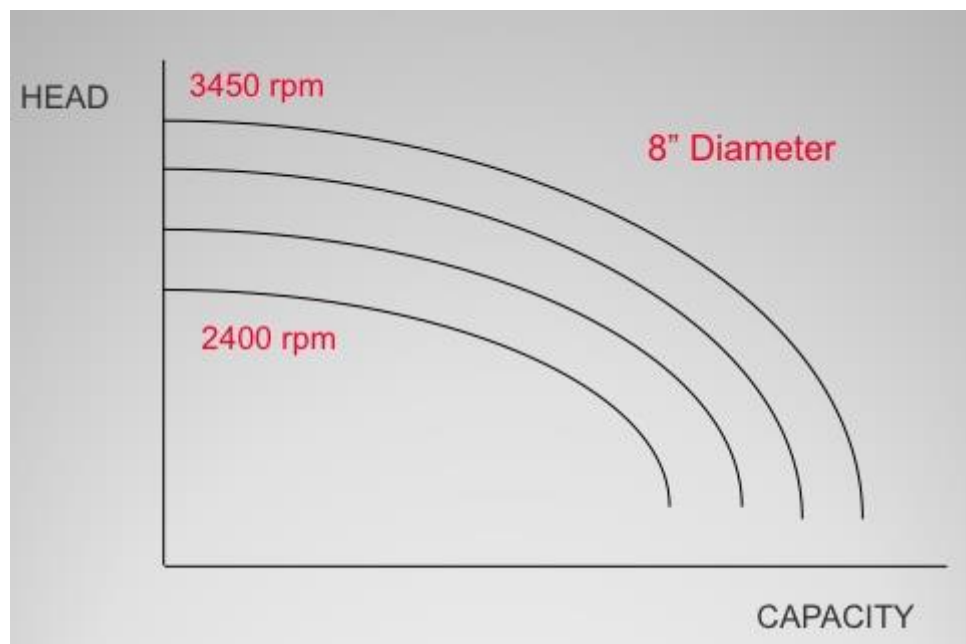
Jika pada sebuah pompa tertentu dijaga konstan putaran porosnya, maka kita dapat menggeser kurva performansinya dengan cara memvariasikan besar diameter impellernya.



Gambar 2.22. Kurva Head VS Capacity Ketika Pompa Dijaga Konstan Putaran Porosnya

Sumber :artikel-teknologi.com

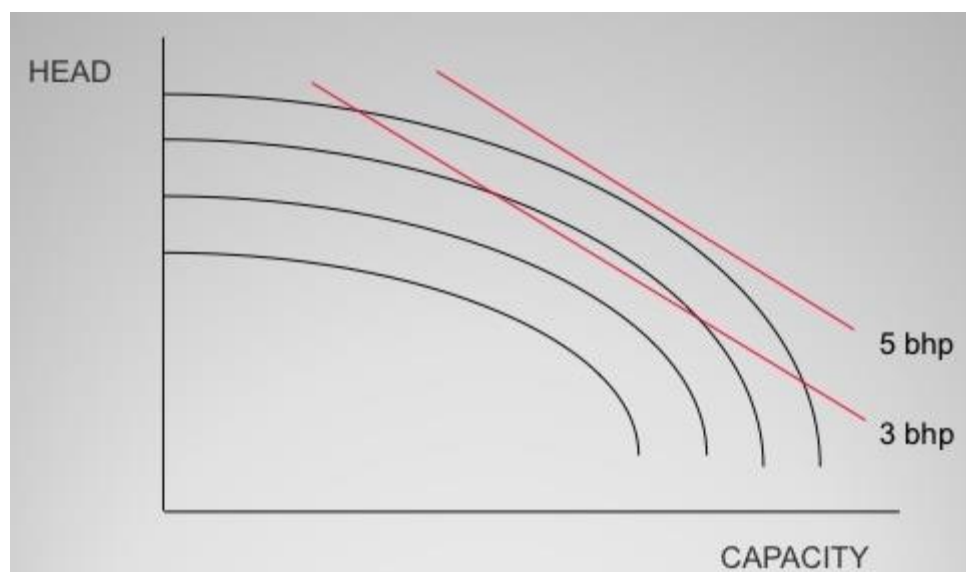
Begitu pula jika kita menjaga diameter impeller pompa pada kondisi konstan, lalu kita memvariasikan besar putaran porosnya, maka kita juga dapat menggeser kurva performansi pompa ke kanan maupun ke kiri.



Gambar 2.23. Kurva Head VS Capacity Ketika Diameter Impeller Pompa pada Kondisi Konstan
Sumber :artikel-teknologi.com

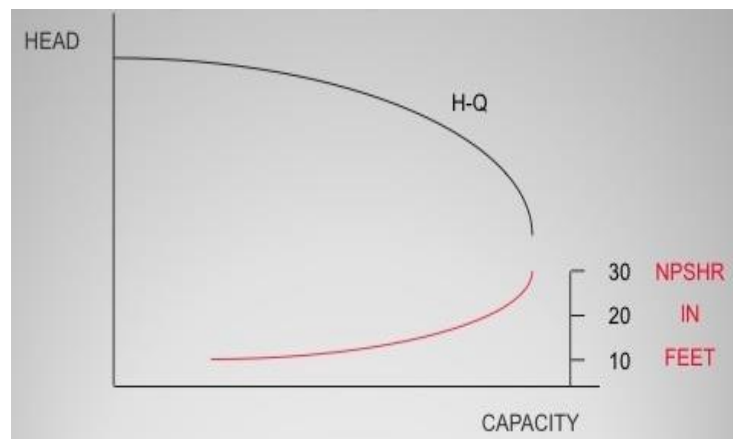
Pemvariasian kondisi pompa di atas memang tampak kurang lazim. Namun di dunia industri hal tersebut menjadi hal yang lumrah. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap misalnya, pompa utama yang mensupply air menuju boiler harus dapat memvariasikan besar debit air yang dikeluarkan sesuai dengan kebutuhan uap air yang akan diproduksi boiler. Perubahan beban listrik maka kebutuhan uap airnya juga berbeda-beda. Pemvariasian putaran pompa menjadi solusi yang masuk akal untuk digunakan pada industri ini.

Yang pertama adalah informasi **Brake HorsePower** (BHP) yang diperlukan untuk mengoperasikan pompa. BHP juga dikenal dengan daya mesin murni adalah sebuah satuan penunjukan daya sebuah mesin sebelum dikurangi oleh **losses** akibat desain sistem atau *losses* lainnya.



Gambar 2.25. Contoh Kuva Head VC Capacity Dimana Ditunjukkan Efisiensi Hidrolik Terbaik
Sumber :artikel-teknologi.com

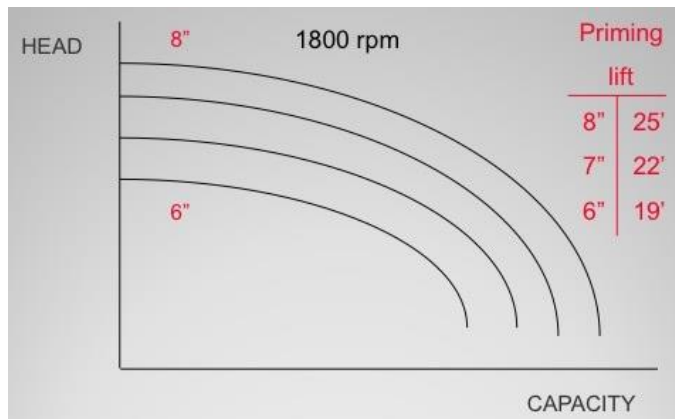
Parameter yang ketiga adalah *Net Positive Suction Head Required (NPSHR)*. NPSHR adalah sebuah parameter pompa yang nilainya didapatkan dari uji lab. NPSHR merupakan besaran yang menunjukkan losses dari internal pompa yang besarnya ditentukan oleh desain pompa, ukurannya, dan operasional putarannya.



Gambar 2.26. Kurva NPSHR Sebuah Pompa
Sumber :artikel-teknologi.com

Besar NPSHR dipengaruhi oleh besar putaran pompa saat digunakan pada sistem. Sedangkan putaran pompa tergantung dari desain sistem itu sendiri. Lain halnya dengan NPSH yang nilainya dipengaruhi langsung oleh desain sistem. Nilai NPSH (*Net Positive Suction Head*) harus selalu lebih tinggi daripada nilai NPSHR ini.

Kemampuan pompa dalam mengangkat air pada sisi inletnya (*priming lift*).

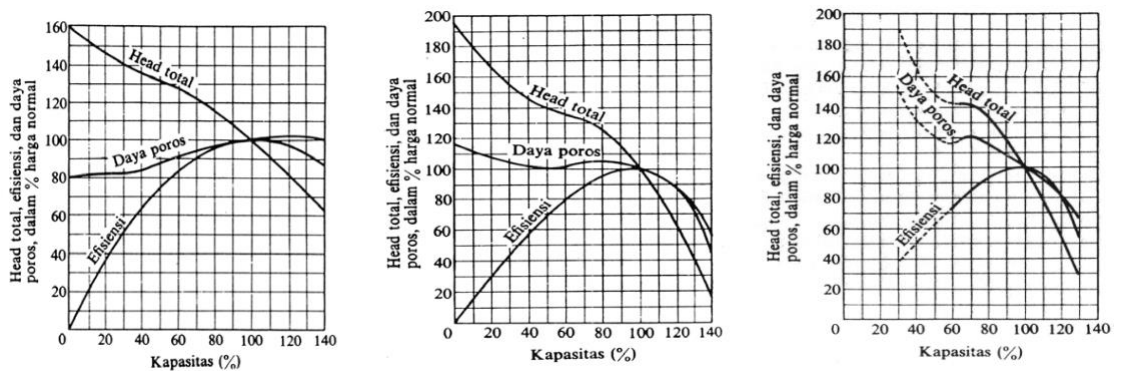


Gambar 2.27. Kurva Kemampuan Pompa Dalam Mengangkat Air Dari Kedalaman Tertentu

Sumber :artikel-teknologi.com

Pada kurva di atas ditunjukkan informasi kemampuan pompa dalam mengangkat air dari kedalaman tertentu pada setiap diameter impeller. Hal ini sangat penting terutama pada saat nanti melakukan pemilihan pompa untuk digunakan pada sebuah sistem.

Untuk setiap pompa, pabrik pembuatnya memberikan kurva karakteristik yang menunjukkan unjuk kerja pompa pada berbagai kondisi pemakaian. Karakteristik sebuah pompa digambarkan dalam kurva karakteristik menyatakan besarnya *head* total, daya pompa dan efisiensi pompa terhadap kapasitas. Berikut ini adalah contoh kurva karakteristik suatu pompa :

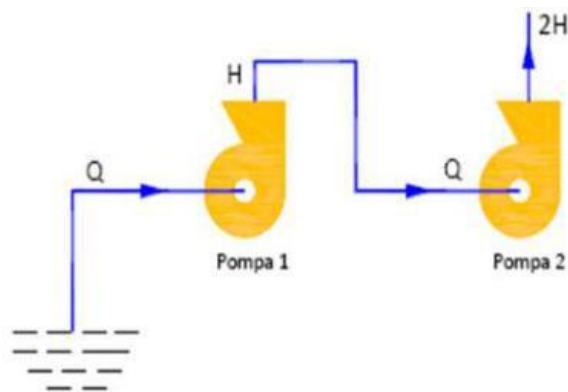


Gambar 2.28. Grafik karakteristik pompa dengan n_s kecil, sedang dan besar.

Sumber :Sularso,2000

Jika *head* atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara seri atau paralel.

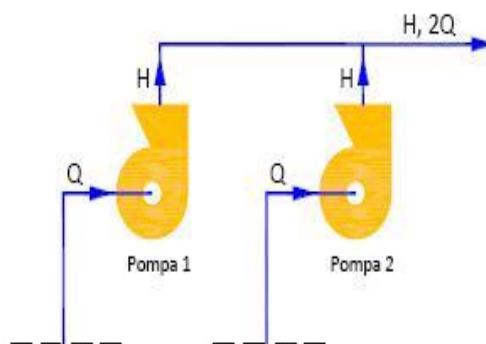
Bila *head* yang diperlukan besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa, maka dapat digunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri. Penyusunan pompa secara seri dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.29. Pompa Susunan Seri

Sumber :slideplayer.info

Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dipenuhi oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki. Penyusunan pompa secara paralel dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.30. Pompa Susunan Paralel
Sumber :slideplayer.info

Operasi paralel di mana masing-masing *suction* pompa dihubungkan dengan *header* utama, dan discharge ke *header* gabungan dan bekerjasama untuk menghasilkan *flow* pada *head* tetap.

Dalam operasi paralel umumnya sejumlah pompa digabungkan untuk menangani *fluktuasi flow* yang besar dari sistem. *Arrangement* ini banyak digunakan pada *water treatment* di mana air minum yang disuplai dari *plan treatment* ke sub-divisi akan terjadi fluktuasi besar sepanjang waktu. Pemakaian beberapa pompa dalam satu sistem memungkinkan pompa dihidupkan dan dimatikan sesuai kebutuhan untuk memenuhi variasi permintaan.

Kurva head dan kapasitas pompa disediakan oleh produsen. Perlu di ingat bahwa BEP (*Best Efficiency Point*) berada di antara 80% dan 85% dari maksimum head. Untuk memaksimalkan usia pompa perlu mengoperasikan pompa sedekat mungkin dengan BEP.

Pada masing-masing diagram menggunakan terminologi yang sama:

$H = \textit{Head}$ (feet atau meter)

$Q = \text{Kapasitas}$ (gpm, m³/hr)

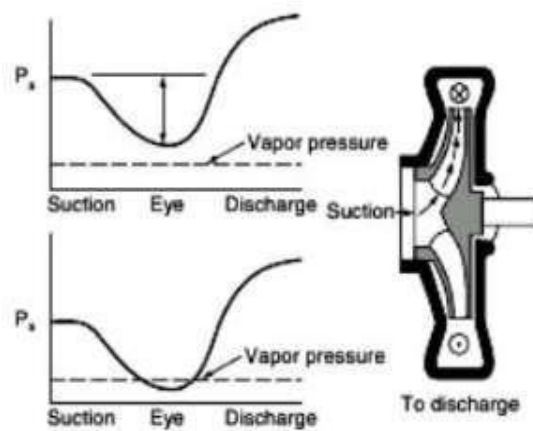
$S = \text{Kurva sistem yang disediakan oleh konsumen}$

Pompa akan selalu bekerja pada kurva kecuali *clearance* dalam pompa sudah terlalu lebar. Apabila kapasitas pompa sentrifugal bertambah maka *head* akan berkurang dan sebaliknya apabila kapasitas berkurang maka *head* akan bertambah. Bila pompa bekerja di luar range pompa maka akan terjadi kavitasi karna kelebihan *flow*.

2.1.8Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya turun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Ketika zat cair terhisap pada sisi isap pompa, maka tekanan pada permukaan zat cair akan turun. Menurunnya tekanan hingga mencapai tekanan uap jenuhnya mengakibatkan cairan akan menguap dan membentuk gelembung uap. Selama bergerak sepanjang impeler, kenaikan tekanan akan menyebabkan gelembung uap pecah dan menumbuk permukaan pompa. Jika permukaan saluran/pipa terkena tumbukan gelembung uap tersebut secara terus menerus dalam jangka lama maka akan mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang pada dinding saluran atau sering disebut erosi kavitasi. timbulnya suara berisik, getaran dan turunnya performansi pompa.

Fenomena penurunan performansi pompa dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.31 dibawah ini.



Gambar 2.31. Fenomena penurunan performansi pompa
 Sumber : repository.unim.ac.id

2.1.9 Hukum Kesebangunan Pompa

Hukum ini dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja pompa, bila dioperasikan dengan kondisi yang berbeda, seperti jika salah satu kecepatan atau diameter pompa dirubah. Hukum tersebut adalah :

$$\frac{Q_1}{\omega_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{\omega_2 D_2^3} \dots \dots \dots (2.35)$$

$$\frac{h_1}{\omega_1^2 D_1^2} = \frac{h_2}{\omega_2^2 D_2^2} \dots \dots \dots (2.36)$$

$$\frac{P_1}{\omega_1^3 D_1^5} = \frac{P_2}{\omega_2^3 D_2^5} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana:

D = Diameter impeler (m)

Q = Laju aliran (m³/s)

H = Head total pompa (m)

P = Daya poros pompa (Watt)

n = Putaran pompa (rpm)

Indeks 1 dan 2 menyatakan pompa 1 dan pompa 2

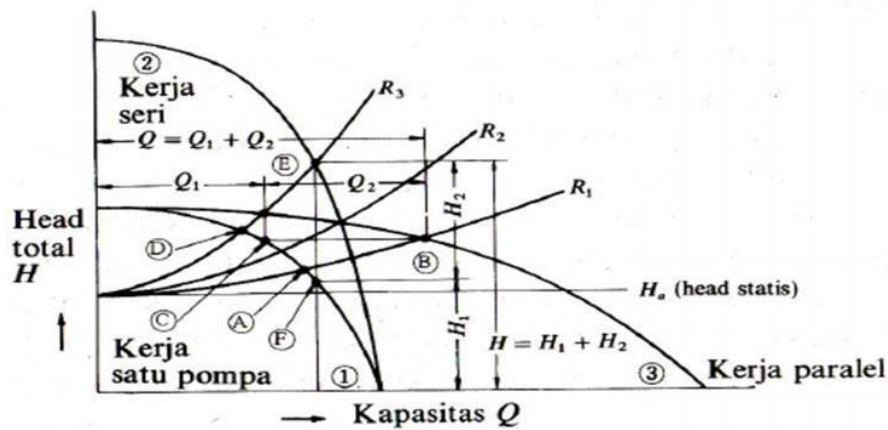
2.1.10 Operasi Pompa Seri dan Paralel

Pompa dapat kita pasang atau operasikan paralel atau seri, jika kita ingin menaikkan kapasitas pompa dapat kita operasikan Paralel. Sedangkan jika kita ingin menaikkan Head/ tekanan discharger pompa, kita dapat mengoperasikannya secara seri. Pompa pertama kita sebut pompa pengirim atau pompa utama, sementara pompa ke 2 kita sebut sebagai pompa Booster atau pompa peningkat tekanan.

Dalam mendesain (pararel/series) pompa, jumlah 2 atau lebih pompa sentrifugal disebut dengan multiple centrifugal pump. Dalam mendesain multiple centrifugal pump ini utamanya adalah ketika melakukan instalasi, sangatlah penting untuk memperhatikan hubungan antara kurva pompa (pump curve) dan kurva sistem perpipaan

Pada suatu kondisi, dimana kapasitas atau head yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka selanjutnya dapat digunakan dua pompa atau lebih untuk mencapai kondisi head dan kapasitas yang diperlukan, dengan merangkai pompa tersebut secara

seri maupun paralel. Gambar berikut ini menunjukkan kurva head – kapasitas dari pompa – pompa yang memiliki karakteristik yang sama.



Gambar 2.32. Operasi seri dan parallel dari pompa-pompa dengan karakteristik yang sama
Sumber: Sularso,2000

Pada kurva karakteristik diatas menunjukkan pompa yang dipasang secara seri dan paralel. Dimana untuk pompa tunggal diberi tanda (1), pompa seri (2), dan pompa paralel (3). Ditunjukkan tiga buah kurva dari head-kapasitas sistem, yaitu R_1, R_2 , dan R_3 . Pada kurva R_3 , menunjukkan tahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan R_1 dan R_2 . Jika sistem memiliki kurva head-kapasitas R_3 , maka titik kerja pompa 1 akan terletak di D. Jika pompa disusun secara seri

sehingga menghasilkan kurva 2, maka titik kerjanya akan berpindah ke E yang tidak sama dengan dua kali lipat head di D, karena ada perubahan yang berupa kenaikan kapasitas. Jika sistem memiliki kurva head-kapasitas R_1 maka titikkerja pompa 1 akan terletak di A. Andaikan pompa disusun secara paralel sehingga menghasilkan kurva 3 maka titik kerjanya akan berpindah ke B, disini dapat terlihat bahwa kapasitas di titik B tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas pada titik A, karena ada perubahan kenaikan head sistem. Andaikan sistem memiliki kurva karakteristik seperti R_2 , maka laju aliran akan samauntuk susunan secara seri ataupun paralel. Akan tetapi jika karakteristik sistem adalah R_1 dan R_3 , maka akan diperlukan pompa susunan seri atau paralel. Jadirangkaian seri digunakan untuk menaikan head, sedangkan paralel berguna untuk menaikan kapasitas aliran (Sularso, 2000).

2.1.11 Pengatur Kecepatan (Dimmer)

Rangkaian pengatur kecepatan atau dimmer adalah sirkuit yang berfungsi mengatur kecepatan putaran motor listrik. Dengan mengatur kecepatan berputar, maka akan didapat putaran sesuai keinginan.

Rangkaian ini dibangun dengan prinsip dasar pemotongan gelombang AC. gelombang AC PLN adalah gelombang Sinusoidal dengan Amplitudo 220V. Dengan rangkaian ini gelombang AC dari PLN akan dipotong oleh kombinasi komponen DIAC dan TRIAC.

Pemotongan gelombang akan menghasilkan daya yang lebih kecil sehingga energi yang dihasilkan untuk putaran motor berkurang.

2.2 Tinjauan Pustaka

Ahmad Sufyan, Didit Sumardiyanto, MT(2017) Pada penelitian analisa perhitungan pompa sirkulasi WWTP limbah pada area painting steel di PT. Cakra Indopaint Cemerlang. Tujuan dalam analisa perhitungan pompa sirkulasi wwtp ini untuk mengetahui dan menentukan spesifikasi pompa yang dibutuhkan pompa seberapa besar daya pompa yang dipakai untuk mensirkulasikan air di area painting steel dengan menghitung spesifikasi pompa yang dipakai, kemudian membandingkan dengan perhitungan teoritis. Dari hasil perhitungan data yang didapat secara teoritis sebagai berikut : Head teoritis adalah sebesar 12,017 m sedangkan yang ada dilapangan sebesar 25 m yang dihitung dengan kapasitas yang sama 0,25 m³/min, dan daya motor penggerak teoritis 1,87 kW sedangkan yang terpasang dilapangan 12 kW.

Ardhy Widyan P (2015) Dalam penelitian ini telah direncanakan suatu pompa jenis sentrifugal. Dari data perencanaan pompa dengan kapasitas/debit 1.5m³/menit. Head pompa 21m berdasarkan perhitungan di lapangan dan putaran pompanya 1470 rpm. Digunakan persamaan empiris dapat ditentukan parameter utama perencanaan pompa yaitu kecepatan spesifik, jenis impeller, daya penggerak pompa, diameter poros, jumlah sudu impeller dan profil impeller. Perencanaan menghasilkan dimensi utama pompa yaitu pompa dengan dengan impeller jenis terbuka kecepatan spesifik :174 rpm, daya

penggerak pompa : 7.333 KW, sudut masuk sudu : 14.90, sudu ke luar sudu : 200, jumlah sudu impeller : 6 buah, diameter dalam : 53mm, diameter ke luar : 198 mm, diameter poros: 18 mm dan tebal sudu: 3 mm.

Budi Johan, Agus Wibowo, Irfan Santoso (2014) melakukan penelitian Variasi Tinggi Pipa Hisap Pada Pompa Terhadap Perubahan Kapasitas Aliran (Aplikasi pada penampungan ember tumpah *waterboom*). Penelitian ini menggunakan variasi 3 ketinggian yaitu 20 cm, 40 cm dan 60 cm. Hasil penelitian ini masing masing mendapatkan debit 0,0000511 m³/s pada tinggi pipa hisap 20 cm, 0,0000577 m³/s pada tinggi pipa hisap 40 cm, 0,0000567 m³/s pada tinggi pipa hisap 60 cm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada ketinggian 40 cm yang memiliki debit yang paling optimal.

Junedo Gandani Dongoran (2012) Penelitian analisa performansi pompa sentrifugal susunan tunggal, seri dan paralelbahwa hasil Pengujian karakteristik pompa menggunakan fluida air pada susunantnggal, seri dan paralel dengan spesifikasi yang sama, dapat diperoleh data sebagai berikut : debit maksimal terdapat pada pompa paralel yaitu sebesar 1,96 10⁻² m³/s dengan head total 8,05 m dan debit terendah pada pompa seri bukaan katup 40%-20% yaitu sebesar 0,36 10⁻² m³/s dengan head total 18,50 m Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa debit pada susunan paralel lebih besar daripada susunan tunggal maupun seri, karena pada susunan paralel kedua pompa sama-sama menghisap zat cair dari bak penampungan.

Edi Widodo, Indah Sulistyowati (2016) Penelitian Rekayasa performansi pompa sentrifugal untuk menurunkan head *loss* menggunakan pipa 1.5 inchi dan tube bundle 0.25 inchi dengan hasil bahwa Pengaruh penambahan tube bundle mampu menurunkan kecepatan fluida dan penurunan nilai head loss. Tekanan fluida dapat dipertahankan serta dampak dari belokan pipa dapat dikurangi, Nilai penurunan head loss yang tinggi pada pemasangan tube bundle yang dekat dengan belokan pipa sedangkan semakin jauh head loss yang terjadi menjadi besar, Tekanan fluida berbanding balik dengan kecepatan aliran.

Jenny Delly (2009) Penelitian ini memvariasikan temperature fluida yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya kavitasi pada sudu pompa sentrifugal. Didapatkan hasil semakin tinggi temperature, maka semakin besar kemungkinan terjadinya kavitasi pada sudu. Hal ini juga terjadi dengan semakin turunnya tekanan hisap. Intensitas kavitasi dapat dilihat dengan perubahan distribusi tekanan arah radial, angka kavitasi dan visualisasi gambar.

Masyhudi, Ahmad Zayadi, Basori (2014) Pembahasan masalah pompa sentrifugal ini juga bertujuan untuk mengetahui karakterisasi yaitu mencari head sebagai fungsi kapasitas, daya sebagai fungsi kapasitas, dan efisiensi sebagai fungsi kapasitas dengan metode yang meliputi : Studi literatur, perencanaan alat uji, perakitan alat uji, uji coba/pengambilan data, Analisis data hasil pengujian. Alat pengujian pompa sentrifugal ini menggunakan fluida yang mempunyai berat jenis 855 kg/m^3 . Dari hasil

percobaan yang telah dilakukan, diperoleh data antara lain adalah kapasitas rendah $0,36 \text{ m}^3/\text{h}$ yang terjadi pada putaran pompa 3080 rpm dan kapasitas tertinggi diperoleh sebesar $0,84 \text{ m}^3/\text{h}$ yang terjadi pada putaran pompa 3840 rpm, sedangkan head tertinggi yang dapat di capai adalah 33,92 m dan efisiensi tertinggi yg dihasilkan adalah 99.17 %. Dari hasil tersebut dapat di simpulkan bahwa alat uji fungsi pompa sentrifugal bahwa dengan kapasitas daya air dan koefisien gesek sistim pemipaan yang sama pada putaran poros yang bervariasi akibat perbedaan diameter pully penggerak pompa, dapat berpengaruh terhadap besar debit atau laju aliran fluida dan efisiensi pompa secara keseluruhan sehinggadapat dikatakan debit dan efisiensi pompa berbanding lurus dengan dengan putaran poros pompa.

M. Faisal Yamin (2016) melakukan penelitian pengujian pompa yang beroperasi pada alat uji pompa seri dan parallel. Pada penelitian ini menunjukkan grafik hubungan antara debit dan head pompa tunggal, seri dan parallel mendekati grafik operasi pompa seri dan parallel dengan karakteristik yang sama secara teori, tetapi terdapat sedikit penyimpangan antara hasil pengujian dengan teori, dimana untuk head yang dihasilkan pada pengoperasian pompa seri tidak sampai dua kali lipat head pompa tunggal.

Mustakim (2015) Unjuk kerja pompa sentrifugal banyak dipengaruhi oleh disain impeller, rumah pompa, laju aliran dan kecepatan sudut. Penelitian ini ingin mengetahui pengaruh kecepatan sudut terhadap pompa sentrifugal jenis tunggal. Variasi kecepatan sudut yang digunakan 999 rad/ s sampai 3000 rad/s. Jika kecepatan sudut pompa bertambah maka debit aliran

akan meningkat, ini sebabkan karna putaran poros pompa yang memutar impeller berputar semangkin tinggi sehingga air yang dipindahkan semakin banyak. Penambahan kecepatan sudut berbanding lurus terhadap kenaikan debit aliran, Semakin bertambah kecepatan sudut pompa maka head pompa akan semakin meningkat, ini disebabkan karna bertambahnya debit fluida yang mengalir yang mengakibatkan tekanan pada sisi discharge pompa semakin meningkat. Pada kecepatan sudut 3000 rad/s pompa dapat menghasilkan head hingga 12,28249744 m, Semakin bertambah kecepatan sudut maka efisiensinya semakin meningkat, ini disebabkan karena daya hidrolik pompa semakin meningkat dimana peningkatan daya hidrolik disebabkan karna kapasitas debit aliran yang bertambah dan head pompa yang semakin meningkat.

Raihan Bayu Dwantoro (2019) Dari penelitian Pengaruh Jumlah Sudu Impeler Terhadap Unjuk Kerja Pompa Sentrifugal ini kita dapat menyimpulkan :Performa / daya hidraulik tertinggi ada pada impeler dengan jumlah sudu 6 yaitu 0,065 kW dan nilai terendah ada pada impeler dengan jumlah sudu 4 yaitu 0,037 kW, Efisiensi tertinggi ada pada impeler dengan jumlah sudu 6 yaitu 85,52 % dan terendah ada pada impeler dengan jumlah sudu 4 yaitu 48,52 %

Riki Candra Putra (2018) Pada penelitian perancangan pompa sentrifugal dan diameter luar impeller untuk kebutuhan air kapasitas 60 LPM gedung F dan D di Universitas Muhammadiyah Tangerang, di objek penelitian digunakan pompa sentrifugal untuk mengambil air dalam tanah menuju ke

tendon air di atap gedung. Pada Gedung F dan gedung D di Universitas Muhammadiyah Tangerang diambil rata-rata kapasitas 60 LPM untuk kedua gedung, dan dilakukan perhitungan total *Head* sebesar 92,87 m berdasarkan panjang pipa dan kerugian-kerugian yang terjadi, sehingga didapat daya poros 2,6 kW pada gedung F dan gedung D, kemudian dapat ditentukan masing-masing daya motor penggerak dengan mengalikannya *safety factor* sebesar 1.15. Berdasarkan perbandingan antara daya poros dengan daya motor, maka nilai efisiensi untuk pompa F dan D adalah sebesar 35%. Untuk itu dapat diambil kesimpulan bahwa efisiensi pompa tersebut diambil agar *safety factor* pompa tersebut tinggi. Sehingga didapat hasil perhitungan diameter luar *impeller* sebesar 246 mm, yang merupakan acuan teoritis untuk ukuran diameter.

Rombe Allodan Allo S. Pongsapan(2018) pada penelitian upaya peningkatan unjuk kerja pompa sentrifugal dengan pemasangan *inducer* pada *lock nut impeller*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan inducer pada locknut impeller terhadap karakteristik pompa sentrifugal tipe aliran radial yang menjadi objek penelitian. Disini yang dimaksud dengan karakteristik pompa adalah head, debit, dan efisiensi pompa. Kegiatan yang akan dilaksanakan pada riset ini meliputi perancangan dan perakitan alat pengujian pompa sederhana, pembuatan benda uji, pengambilan data, analisa dan pembahasan serta kesimpulan. Pada penelitian ini terdapat empat jenis pengujian, yakni: 1) Pompa sentrifugal tanpa modifikasi (normal); 2) Pompa modifikasi 1 dengan *inducer* berukuran panjang 25 mm; 3) Pompa modifikasi 2 dengan *inducer* berukuran panjang 50

mm; 4) Pompa modifikasi 3 dengan *inducer* berukuran panjang 75 mm. Penelitian menunjukkan bahwa modifikasi dapat memperbaiki karakteristik pompa sentrifugal yang menjadi objek penelitian dimana terjadi peningkatan head total (H_{tot}), debit (Q) dan efisiensi (η_p). Karakteristik terbaik diperoleh pada pompa modifikasi 2 dengan *inducer* berukuran panjang 50 mm, disusul oleh pompa modifikasi 3 dengan *inducer* berukuran 75 mm, pompa modifikasi 1 dengan *inducer* berukuran 25 mm dan yang terendah adalah pompa tanpa modifikasi (normal). Peningkatan karakteristik pompa sentrifugal tersebut disebabkan karena modifikasi dapat meminimalisir gejala *pre-rotation*, turbulensi, serta separasi aliran (terjadi perbaikan pola aliran di dalam pompa).

Sigit Nugroho, Wibawa .E.J, Dwi Aries Himawanto (2014) Penelitian pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja dan kavitasi pompa sentrifugal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh angka pisau pada kinerja impeller dan kavitasi di pompa sentrifugal. Penelitian ini menggunakan pompa NS Basic 13-18, impeller semi-terbuka GRUNDFOS dan beragam impeller blade 2, 3, 4, 5. Penelitian ini didasarkan pada metode API 610 hingga pertahankan kecepatan 2.760 rpm dan tekanan hisap konstan kemudian atur kapasitas. Parameter yang dihasilkan perhitungan adalah kepala, efisiensi total, NPSHR, dan angka-angka penting. Hasil penelitian ini menunjukkan meningkatkan jumlah blade meningkatkan head nilai dan efisiensi dalam pengujian kinerja. Sementara peningkatan jumlah pengujian kavitasi blade NPSHR. dan jumlah toma kritis (σ_c) semakin besar.

Sujatmiko (2015) Penelitian ini untuk mengetahui besartekanan yang dihasilkan oleh ketiga pemasangan pompa secara tunggal, seri dan paralel. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Malang, pengujian ini dilakukan dengan mengubah kedudukan Valve pada Instalasi perpipaan. Hasil yang didapat menunjukkan dari pompa tunggal bahwa semakin besar variasi bukaan Valve maka akan semakin besar pula Head yang dihasilkan dimana bukaan Valve 900 dan head 17,21 m. Untuk pompa seri bukaan Valve 900 dan Head 70,18 m. Untuk Pompa Paralel bukaan Valve 900 dan Headnya menurun 46,4 m.

Supardi (2015) Penelitian ini untuk mengetahuipengaruh variasi debit aliran dan pipa isap (section) terhadap karakteristik pompa sentrifugal secara parallel. Hasil yang didapat menunjukkan Pengaruh variasi diameter pipa isap pada pengujian ini berpengaruh pada Kapasitas (Q). Semakin besar diameter pipa isap yang digunakanmaka semakin besar pula kapasitas air yang dihasilkan. Pengaruh variasi debit aliran melalui bukaan katup berpengaruh pada Head (H) dan juga berpengaruh pada Kapasitas (Q). semakin kecil pengaturan bukaan katup maka Head yang dihasilkan semakin Besar. Sedangkan terjadi penurunan jumlah kapasitas Air.

Veri Tri Sutrisno (2010) Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif jenis pompa yang lebih sederhana, menggunakan pompa sentrifugal sederhana dengan 2 pipa output dan 1 pipa input. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adakah diameter pipa, head pompa dan putaran motor penggerak. Dimana berdasarkan data yang diperoleh dan pengolahan

datadidapatkan Debit maksimal adalah 12,89 liter/menit pada head 0,8 meter dan putaran 181 rpm, efisiensi tertinggi adalah 7,83% pada head 1,2 meter dan putaran 182 rpm, torsi tertinggi 1,96 N-m pada head 0,9 meter dan putaran 178 rpm.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Percobaan

Dari pengamatan yang penulis lakukan, diketahui :

Panjang pipa pada tipe pemasangan pompa tunggal

• Pompa I = 189 cm = 1,89 m

• Pompa II = 169 cm = 1,69 m

Panjang pipa pada tipe pemasangan pompa seri = 279 cm = 2,79 m

Panjang pipa pada tipe pemasangan pompa paralel = 281 cm = 2,81 m

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$r = 0,26 \text{ meter}$ (panjang lengan torsi)

$D = 20,33 \text{ mm} = 0,02033 \text{ m}$

Tabel 4.1 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa tunggal pompa I

Pengujian (Kecepatan Putaran Pompa)	m (kg)	Q (l/mnt)	Ps (In Hg)	Pd (kPa)	T (°C)
1000 Rpm	2,5	9,7	0	8	34
1500Rpm	4	15,3	0	18,7	34
2000Rpm	4	20,3	0	31,4	30
2500Rpm	4	25,4	-1	45,1	30
2800Rpm	4,5	29,2	-1,5	58,8	31

Tabel 4.2 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa tunggal pompa II

Pengujian (Kecepatan Putaran Pompa)	m (kg)	Q (l/mnt)	Ps (In Hg)	Pd (kPa)	T (°C)
1000 Rpm	2,5	9,6	0	8	34
1500 Rpm	4	12,2	0	17,7	34
2000 Rpm	4	20,4	-1	35,35	34
2500 Rpm	4	26,5	-2	61,7	35
2800 Rpm	4,5	27,5	-2,5	67,5	35

Tabel 4.3 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa seri

Pengujian (Kecepatan Putaran Pompa)	M (kg)	Q (l/mnt)	Ps (In Hg) I	Ps (In Hg) II	Pd (kPa) I	Pd (kPa) II	T (°C)
1000 Rpm	2,5	12,7	0	0	15,8	13,8	30
1500 Rpm	4	17,3	0	0	19,7	25,5	30
2000 Rpm	4	25,25	-1	0	52,9	56,8	31
2500 Rpm	4	26,4	-1,5	0	35,3	62,7	31
2800 Rpm	4,5	26,8	-2	-1,75	27,5	70,5	32

Tabel 4.4 Job sheet pengambilan data tipe pemasangan pompa paralel

Pengujian (Kecepatan Putaran Pompa)	M (kg)	Q (l/mnt)	Ps (In Hg) I	Ps (In Hg) II	Pd (kPa) I	Pd (kPa) II	T (°C)
1000 Rpm	2,5	15,8	0	0	21,6	19,7	34
1500 Rpm	4	19,7	0	0	29,5	23,6	34
2000 Rpm	4	21,4	0	0	35,3	27,5	34
2500 Rpm	4	37	0	-1	115,4	115,4	35
2800 Rpm	4,5	37,3	0	-1,5	127,1	127,1	33

4.2 Pengolahan Data

Konversi satuan untuk hasil pengambilan data.

- Debit Aliran (Q)

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{9,7 \text{ liter}}{\text{menit}} \\
 &= \frac{9,7 \text{ dm}^3}{60 \text{ s}} \\
 &= \frac{0,0097 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} \\
 &= 0,0001616 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

- Tekanan (P)

$$1 \text{ Atm} = 101.325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa} = 760 \text{ mm Hg} = 29,9213 \text{ in Hg}$$

$$1 \text{ In Hg} = \frac{101.325 \text{ Pa}}{29,9213}$$

$$1 \text{ In Hg} = 3.386,38 \text{ Pa}$$

4.2.1 Perhitungan pada tipe pemasangan pompa tunggal (pompa I) pada Kecepatan Putaran Pompa 1000Rpm

a. Mencari Kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Dimana :

$$Q \text{ (Debit)} = 9,7 \text{ l/mnt} = 0,0001616 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D \text{ (Diameter dalam pipa)} = 0,02033 \text{ m}$$

$$\pi = 3,14$$

Ditanya v = ...?

Jawab

$$v = \frac{0,0001616 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{3,14}{4} (0,02033 \text{ m})^2}$$

$$v = \frac{0,0001616 \text{ m}^3/\text{s}}{0,785 \cdot 0,000413}$$

$$v = 0,498 \text{ m/s}$$

b. Mencari Head (H)

$$H_{\text{total}} = h_p + h_v + h_L$$

• Mencari Head Tekanan

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}}{\rho g} \right)$$

Dimana :

$$P_d \text{ (Tekanan Dorong)} = 8 \text{ kPa} = 8.000 \text{ Pa}$$

$$P_s \text{ (Tekanan Hisap)} = 0 \text{ InHg} = 0 \text{ Pa}$$

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya H_p ...?

Jawab

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{8.000 \text{ Pa} - 0}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$= \frac{8000}{9800}$$

$$= 0,816 \text{ m}$$

• Mencari Head Kecepatan

$$\text{Head Kecepatan} = \frac{V_d - V_s}{2g}$$

Dimana :

$$V_d \text{ Kecepatan Dorong} = 0,498 \text{ m/s}$$

$$V_s \text{ Kecepatan Hisap} = 0,498 \text{ m/s}$$

Ditanya H_v ...?

$$\begin{aligned} H_v &= \frac{0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= \frac{0}{19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0 \text{ m} \end{aligned}$$

- Mencari Head Losses

$$H_L = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

Untuk mencari Head Mayor kita perlu mencari friction faktor

$$\begin{aligned} Re &= \frac{v \cdot D}{\nu \text{ kinematik}} \\ &= \frac{0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,02033 \text{ m}}{1,000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 10.124,34 \end{aligned}$$

Maka dapat dicari koefisien gesek : ϵ , untuk pipa akrilik termasuk smooth pipe. Dari kedua parameter diatas, maka didapat f (nilai kekasaran relatif pipa) dari diagram moody adalah 0,06

$$\text{Head Losses Mayor} = f \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana :

$$l \text{ (Panjang Pipa)} = 1,89 \text{ m}$$

$$v \text{ (Kecepatan)} = 0,498 \text{ m/s}$$

Ditanya Head Losses Mayor ...?

$$\begin{aligned} H_f &= 0,06 \frac{1,89 \text{ m} \cdot (0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{0,02033 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,06 \frac{0,491}{0,3985} \\ &= 0,0706 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk mencari Head Losses Minor, kita perlu menghitung berapa kerugian yang dilalui pada instalasi pipa (Lihat gambar 2.19)

Nilai K untuk sambungan $T = 0,2$

Nilai K untuk sambungan siku $90^\circ = 0,3$
 Nilai K untuk katup bola bukaan penuh = $0,05$
 K = Koefisien Kerugian

$$\begin{aligned}
 \text{Head Losses Minor} &= K \frac{v^2}{2g} \\
 &= ((0,3 \times 4) + (0,05 \times 2)) \frac{\left(0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\
 &= 0,016 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_L &= H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor} \\
 &= 0,0706 + 0,016 \\
 &= 0,0866 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi } H_{\text{total}} &= H_p + H_v + H_L \\
 &= 0,816 \text{ m} + 0 + 0,0866 \text{ m} \\
 &= 0,9026 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Mencari Daya Hidraulik (N_h)

$$N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ (Massa jenis air)} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 g \text{ (Percepatan Gravitasi)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 Q \text{ (Debit)} &= 0,0001616 \text{ m}^3/\text{s} \\
 H \text{ (Head Total)} &= 0,9026 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Ditanya N_h ...?

$$N_h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0001616 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 0,9026 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,429 \text{ watt} \\
 &= 0,001429 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

d. Mencari Daya Pompa (N_p)

$$N_p = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 T &= m \cdot g \cdot \mu_g \cdot r \\
 &= 2,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,04 \cdot 0,26 \text{ m} \\
 &= 0,2548 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Tabel 1

Materi	μ_s	μ_k
Baja pada baja	0.74	0.57
Aluminium pada baja	0.61	0.47
Tembaga pada baja	0.53	0.36
Kuningan pada baja	0.51	0.44
Seng pada besi tuang	0.85	0.21
Tembaga pada besi tuang	1.05	0.29
Kaca pada kaca	0.94	0.40
Tembaga di atas kaca	0.68	0.53
Teflon pada Teflon	0.04	0.04
Teflon pada baja	0.04	0.04
Karet pada beton (kering)	1.0	0.8
Karet pada beton (basah)	0.30	0.25

$$\begin{aligned}\omega &= \text{Kecepatan Sudut (} 2\pi n/60 \text{)} \\ &= 2 \cdot 3,14 (1.000 \text{ rpm}/60) \\ &= 104,6 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Ditanya N_p ...?

$$\begin{aligned}N_p &= 0,2548 \text{ Nm} \cdot 104,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ &= 26,669 \text{ watt} \\ &= 0,0267 \text{ kW}\end{aligned}$$

e. Mencari Efisiensi

$$\text{efisiensi} = \frac{N_h}{N_p} \times 100$$

Dimana :

$$N_h \text{ (Daya Hidrolik)} = 0,001429 \text{ kW}$$

$$N_p \text{ (Daya Pompa)} = 0,0267 \text{ kW}$$

Ditanya efisiensi ...?

$$\begin{aligned}\text{efisiensi} &= \frac{0,001429 \text{ kW}}{0,0267 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 5,352 \%\end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan pada tipe pemasangan pompa tunggal (pompa II) pada Kecepatan Putaran Pompa 1000 Rpm

a. Mencari Kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Dimana :

$$Q \text{ (Debit)} = 9,6 \text{ l/mnt} = 0,00016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D \text{ (Diameter dalam pipa)} = 0,02033 \text{ m}$$

$$\pi = 3,14$$

Ditanya $v = \dots?$

Jawab

$$v = \frac{0,00016 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{3,14}{4} (0,02033 \text{ m})^2}$$

$$v = \frac{0,00016 \text{ m}^3/\text{s}}{0,785 \cdot 0,000413}$$

$$v = 0,49315 \text{ m/s}$$

b. Mencari Head (H)

$$H_{\text{total}} = h_p + h_v + h_L$$

- Mencari Head Tekanan

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}}{\rho g} \right)$$

Dimana :

$$P_d \text{ (Tekanan Dorong)} = 8 \text{ kPa} = 8.000 \text{ Pa}$$

$$P_s \text{ (Tekanan Hisap)} = 0 \text{ InHg} = 0 \text{ Pa}$$

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya $H_p \dots?$

Jawab

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{8.000 \text{ Pa} - 0}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$= \frac{8000}{9800}$$

$$= 0,816 \text{ m}$$

- Mencari Head Kecepatan

$$\text{Head Kecepatan} = \frac{V_d - V_s}{2g}$$

Dimana :

$$V_d \text{ Kecepatan Dorong} = 0,49315 \text{ m/s}$$

$$V_s \text{ Kecepatan Hisap} = 0,49315 \text{ m/s}$$

Ditanya $H_v \dots?$

$$H_v = \frac{0,49315 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,49315 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= \frac{0}{19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0 \text{ m}$$

- Mencari Head Losses

$$H_L = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

Untuk mencari Head Mayor kita perlu mencari friction faktor

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu \text{ kinematik}}$$

$$= \frac{0,49315 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,02033 \text{ m}}{1,000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 10.025,66$$

Maka dapat dicari koefisien gesek : ϵ , untuk pipa akrilik termasuk smooth pipe. Dari kedua parameter diatas, maka didapat f (nilai kekasaran relatif pipa) dari diagram moody adalah 0,06

$$\text{Head Losses Mayor} = f \frac{1 \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana :

$$l \text{ (Panjang Pipa)} = 1,69 \text{ m}$$

$$v \text{ (Kecepatan)} = 0,49315 \text{ m/s}$$

Ditanya Head Losses Mayor ...?

$$H_f = 0,06 \frac{1,69 \text{ m} \cdot (0,49315 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{0,02033 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,06 \frac{0,491}{0,3985}$$

$$= 0,061886 \text{ m}$$

Untuk mencari Head Losses Minor, kita perlu menghitung berapa kerugian yang dilalui pada instalasi pipa (Lihat gambar 2.19)

Nilai K untuk sambungan T = 0,2

Nilai K untuk sambungan siku $90^\circ = 0,3$

Nilai K untuk katup bola bukaan penuh = 0,05

K = Koefisien Kerugian

$$\begin{aligned} \text{Head Losses Minor} &= K \frac{v^2}{2g} \\ &= ((0,3 \times 5) + (0,2 \times 2) + (0,05 \times 2)) \frac{\left(0,49315 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,024816 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_L &= H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor} \\ &= 0,061886 + 0,024816 \\ &= 0,0867 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } H_{\text{total}} &= H_p + H_v + H_L \\ &= 0,8163 \text{ m} + 0 + 0,0867 \text{ m} \\ &= 0,903 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Mencari Daya Hidraulik (N_h)

$$N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \rho \text{ (Massa jenis air)} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g \text{ (Percepatan Gravitasi)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ Q \text{ (Debit)} &= 0,00016 \text{ m}^3/\text{s} \\ H \text{ (Head Total)} &= 0,903 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya N_h ...?

$$N_h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 0,903 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} &= 1,41595 \text{ watt} \\ &= 0,00141595 \text{ kW} \end{aligned}$$

d. Mencari Daya Pompa (N_p)

$$N_p = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$\begin{aligned} T &= m \cdot g \cdot \mu_g \cdot r \\ &= 2,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,04 \cdot 0,26 \text{ m} \\ &= 0,2548 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Tabel 1

Materi	μ_s	μ_k
Baja pada baja	0.74	0.57
Aluminium pada baja	0.61	0.47
Tembaga pada baja	0.53	0.36
Kuningan pada baja	0.51	0.44
Seng pada besi tuang	0.85	0.21
Tembaga pada besi tuang	1.05	0.29
Kaca pada kaca	0.94	0.40
Tembaga di atas kaca	0.68	0.53
Teflon pada Teflon	0.04	0.04
Teflon pada baja	0.04	0.04
Karet pada beton (kering)	1.0	0.8
Karet pada beton (basah)	0.30	0.25

$$\begin{aligned}\omega &= \text{Kecepatan Sudut (} 2\pi n/60 \text{)} \\ &= 2 \cdot 3,14 (1.000 \text{ rpm}/60) \\ &= 104,6 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Ditanya N_p ...?

$$\begin{aligned}N_p &= 0,2548 \text{ Nm} \cdot 104,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ &= 26,669 \text{ watt} \\ &= 0,0267 \text{ kW}\end{aligned}$$

e. Mencari Efisiensi

$$\text{efisiensi} = \frac{N_h}{N_p} \times 100$$

Dimana :

$$N_h \text{ (Daya Hidrolik)} = 0,00141595 \text{ kW}$$

$$N_p \text{ (Daya Pompa)} = 0,0267 \text{ kW}$$

Ditanya efisiensi ...?

$$\begin{aligned}\text{efisiensi} &= \frac{0,00141595 \text{ kW}}{0,0267 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 5,309 \%\end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan pada tipe pemasangan pompa seri pada Kecepatan Putaran

Pompa 1000 Rpm

a. Mencari Kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Dimana :

$$Q \text{ (Debit)} = 12,7 \text{ l/mnt} = 0,0002116 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D \text{ (Diameter dalam pipa)} = 0,02033 \text{ m}$$

$$\pi = 3,14$$

Ditanya $v = \dots?$

Jawab

$$v = \frac{0,0002116 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{3,14}{4} (0,02033 \text{ m})^2}$$

$$v = \frac{0,0002116 \text{ m}^3/\text{s}}{0,785 \cdot 0,000413}$$

$$v = 0,653 \text{ m/s}$$

Keterangan : karena menggunakan pompa dengan karakteristik yang sama serta menggunakan pipa dengan diameter yang sama, maka kecepatan (v) pompa I = Kecepatan (v) pompa II dengan nilai 0,653 m/s.

b. Mencari Head (H)

$$H_{\text{total}} = h_p + h_v + h_L$$

- Mencari Head Tekanan

Head Tekanan Pompa I

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P \text{ discharge} - P \text{ suction}}{\rho g} \right)$$

Dimana :

$$P_d \text{ (Tekanan Dorong)} = 15,8 \text{ kPa} = 15.800 \text{ Pa}$$

$$P_s \text{ (Tekanan Hisap)} = 0 \text{ InHg} = 0 \text{ Pa}$$

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya $H_p \dots?$

Jawab

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{15.800 \text{ Pa} - 0}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$= \frac{15.800}{9800}$$

$$= 1,612 \text{ m}$$

Head Tekanan Pompa II

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P \text{ discharge} - P \text{ suction}}{\rho g} \right)$$

Dimana :

$$P_d \text{ (Tekanan Dorong)} = 13,8 \text{ kPa} = 13.800 \text{ Pa}$$

$$P_s \text{ (Tekanan Hisap)} = 0 \text{ InHg} = 0 \text{ Pa}$$

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya H_p ...?

Jawab

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{13.800 \text{ Pa} - 0}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$= \frac{13.800}{9800}$$

$$= 1,408 \text{ m}$$

Jadi, Head Tekanan = Head Tekanan Pompa I + Head Tekanan Pompa II

$$= 1,612 \text{ m} + 1,408 \text{ m}$$

$$= 3,02 \text{ m}$$

- Mencari Head Kecepatan

Head Kecepatan Pompa I

$$\text{Head Kecepatan} = \frac{V_d - V_s}{2g}$$

Dimana :

$$V_d \text{ Kecepatan Dorong} = 0,653 \text{ m/s}$$

$$V_s \text{ Kecepatan Hisap} = 0,653 \text{ m/s}$$

Ditanya H_v ...?

$$H_v = \frac{0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= \frac{0}{19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0 \text{ m}$$

Head Kecepatan Pompa II

$$\text{Head Kecepatan} = \frac{V_d - V_s}{2g}$$

Dimana :

$$V_d \text{ Kecepatan Dorong} = 0,653 \text{ m/s}$$

$$V_s \text{ Kecepatan Hisap} = 0,653 \text{ m/s}$$

Ditanya H_v ...?

$$H_v = \frac{0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= \frac{0}{19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0 \text{ m}$$

Jadi, Head Kecepatan = Head Kecepatan Pompa I + Head Kecepatan Pompa II

$$= 0 \text{ m} + 0 \text{ m}$$

$$= 0 \text{ m}$$

- Mencari Head Losses

$$H_L = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

Untuk mencari Head Mayor kita perlu mencari friction faktor

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu \text{ kinematik}}$$

$$= \frac{0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,02033 \text{ m}}{1,000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 13.275,49$$

Maka dapat dicari koefisien gesek : ϵ , untuk pipa akrilik termasuk smooth pipe. Dari kedua parameter diatas, maka didapat f (nilai kekasaran relatif pipa) dari diagram moody adalah 0,058

$$\text{Head Losses Mayor} = f \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana :

$$l \text{ (Panjang Pipa)} = 2,79 \text{ m}$$

$$v \text{ (Kecepatan)} = 0,653 \text{ m/s}$$

Ditanya Head Losses Mayor ...?

$$H_f = 0,058 \frac{2,79 \text{ m} \cdot (0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{0,02033 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,058 \frac{1,19}{0,3985}$$

$$= 0,1728 \text{ m}$$

Untuk mencari Head Losses Minor, kita perlu menghitung berapa kerugian yang dilalui pada instalasi pipa (Lihat gambar 2.19)

Nilai K untuk sambungan T = 0,2

Nilai K untuk sambungan siku $90^\circ = 0,3$

Nilai K untuk katup bola bukaan penuh = 0,05

K = Koefisien Kerugian

$$\text{Head Losses Minor} = K \frac{v^2}{2g}$$

$$= ((0,3 \times 3) + (0,2 \times 3) + (0,05 \times 3)) \frac{\left(0,653 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,036 \text{ m}$$

$$H_L = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

$$= 0,1728 + 0,036$$

$$= 0,2088 \text{ m}$$

$$\text{Jadi } H_{\text{total}} = H_p + H_v + H_L$$

$$= 3,02 \text{ m} + 0 + 0,2088 \text{ m}$$

$$= 3,229 \text{ m}$$

c. Mencari Daya Hidraulik (N_h)

$$N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dimana :

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan Gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q \text{ (Debit)} = 0,0002116 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H \text{ (Head Total Pompa I+II)} = 3,229 \text{ m}$$

Ditanya N_h ...?

$$N_h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0002116 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3,229 \text{ m}$$

$$= 6,698 \text{ watt}$$

$$= 0,006698 \text{ kW}$$

Keterangan : Daya hidrolik pada perhitungan diatas merupakan daya hidrolik untuk 2 pompa, karena head yang digunakan pada perhitungan diatas merupakan head total (pompa I + pompa II).

d. Mencari Daya Pompa (N_p)

$$N_p = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$T = m \cdot g \cdot \mu_g \cdot r$$

$$= 2,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,04 \cdot 0,26 \text{ m}$$

$$= 0,2548 \text{ Nm}$$

Tabel 1

Materi	μ_s	μ_k
Baja pada baja	0.74	0.57
Aluminium pada baja	0.61	0.47
Tembaga pada baja	0.53	0.36
Kuningan pada baja	0.51	0.44
Seng pada besi tuang	0.85	0.21
Tembaga pada besi tuang	1.05	0.29
Kaca pada kaca	0.94	0.40
Tembaga di atas kaca	0.68	0.53
Teflon pada Teflon	0.04	0.04
Teflon pada baja	0.04	0.04
Karet pada beton (kering)	1.0	0.8
Karet pada beton (basah)	0.30	0.25

$$\begin{aligned}\omega &= \text{Kecepatan Sudut (} 2\pi n/60 \text{)} \\ &= 2 \cdot 3,14 (1.000 \text{ rpm}/60) \\ &= 104,6 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Ditanya N_p ...?

$$\begin{aligned}N_p &= 0,2548 \text{ Nm} \cdot 104,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ &= 26,669 \text{ watt} \\ &= 0,0267 \text{ kW}\end{aligned}$$

Keterangan : karena menggunakan pompa dengan karakteristik yang sama serta pada pengoperasian kecepatan putaran pompa yang sama (rpm sama), maka daya pompa I (N_p I) = daya pompa II (N_p II) dengan nilai 0,0267 kW

$$\begin{aligned}\text{Jadi, daya pompa total (} N_p \text{ Total)} &= N_p \text{ Pompa I} + N_p \text{ Pompa II} \\ &= 0,0267 \text{ kW} + 0,0267 \text{ kW} \\ &= 0,0534 \text{ kW}\end{aligned}$$

e. Mencari Efisiensi

$$\text{efisiensi} = \frac{N_h}{N_p} \times 100$$

Dimana :

$$N_h \text{ (Daya Hidrolik)} = 0,006698 \text{ kW}$$

$$N_p \text{ (Daya Pompa)} = 0,0534 \text{ kW}$$

Ditanya efisiensi ...?

$$\begin{aligned}\text{efisiensi} &= \frac{0,006696 \text{ kW}}{0,0534 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 12,557 \%\end{aligned}$$

4.2.4 Perhitungan pada tipe pemasangan pompa paralel

a. Mencari Kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Dimana :

$$Q \text{ (Debit)} = 15,81/\text{mnt} = 0,00026 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D \text{ (Diameter dalam pipa)} = 0,02033 \text{ m}$$

$$\pi = 3,14$$

Ditanya v = ...?

Jawab

$$v = \frac{0,00026 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{3,14}{4} (0,02033 \text{ m})^2}$$
$$v = \frac{0,00026 \text{ m}^3/\text{s}}{0,785 \cdot 0,000413}$$

$$v = 0,81164 \text{ m/s}$$

Keterangan : Kecepatan (v) pada perhitungan diatas merupakan kecepatan (v) untuk 2 pompa (v pompa I + v Pompa II).

b. Mencari Head (H)

$$H_{\text{total}} = h_p + h_v + h_L$$

• Mencari Head Tekanan

Head Tekanan Pompa I

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P_{\text{discharge}} - P_{\text{suction}}}{\rho g} \right)$$

Dimana :

$$P_d \text{ (Tekanan Dorong)} = 21,6 \text{ kPa} = 21.600 \text{ Pa}$$

$$P_s \text{ (Tekanan Hisap)} = 0 \text{ InHg} = 0 \text{ Pa}$$

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya H_p ...?

Jawab

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{21.600 \text{ Pa} - 0}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$
$$= \frac{21.600}{9800}$$

$$=2,204 \text{ m}$$

Head Tekanan Pompa II

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{P \text{ discharge} - P \text{ suction}}{\rho g} \right)$$

Dimana :

$$P_d \text{ (Tekanan Dorong)} = 19,7 \text{ kPa} = 19.700 \text{ Pa}$$

$$P_s \text{ (Tekanan Hisap)} = 0 \text{ InHg} = 0 \text{ Pa}$$

$$\rho \text{ (Massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g \text{ (Percepatan gravitasi)} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya H_p ...?

Jawab

$$\text{Head Tekanan} = \left(\frac{19.700 \text{ Pa} - 0}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$= \frac{19.700}{9800}$$

$$= 2,01 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, Head Tekanan} &= \text{Head Tekanan Pompa I} + \text{Head Tekanan Pompa II} \\ &= 2,204 \text{ m} + 2,01 \text{ m} \\ &= 4,214 \text{ m} \end{aligned}$$

- Mencari Head Kecepatan

Head Kecepatan Pompa

$$\text{Head Kecepatan} = \frac{V_d - V_s}{2g}$$

Dimana :

$$V_d \text{ Kecepatan Dorong} = 0,81164 \text{ m/s}$$

$$V_s \text{ Kecepatan Hisap} = 0,81164 \text{ m/s}$$

Ditanya H_v ...?

$$H_v = \frac{0,81164 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0,81164 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= \frac{0}{19,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0 \text{ m}$$

Keterangan : Head kecepatan pada perhitungan diatas, merupakan head kecepatan untuk 2 pompa.

- Mencari Head Losses

$$H_L = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

Untuk mencari Head Mayor kita perlu mencari friction faktor

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu \text{ kinematik}}$$

$$= \frac{0,81164 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,02033 \text{ m}}{1,000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 16.500,56$$

Maka dapat dicari koefisien gesek : ϵ , untuk pipa akrilik termasuk smooth pipe. Dari kedua parameter diatas, maka didapat f (nilai kekasaran relatif pipa) dari diagram moody adalah 0,06

$$\text{Head Losses Mayor} = f \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}$$

Dimana :

$$l \text{ (Panjang Pipa)} = 2,81 \text{ m}$$

$$v \text{ (Kecepatan)} = 0,81164 \text{ m/s}$$

Ditanya Head Losses Mayor ...?

$$H_f = 0,058 \frac{2,81 \text{ m} \cdot \left(0,81164 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,02033 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,058 \frac{2,280}{0,3985}$$

$$= 0,269 \text{ m}$$

Untuk mencari Head Losses Minor, kita perlu menghitung berapa kerugian yang dilalui pada instalasi pipa (Lihat gambar 2.19)

Nilai K untuk sambungan T = 0,2

Nilai K untuk sambungan siku $90^\circ = 0,3$

Nilai K untuk katup bola bukaan penuh = 0,05

K = Koefisien Kerugian

$$\text{Head Losses Minor} = K \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$= ((0,3 \times 3) + (0,2 \times 2) + (0,05 \times 2)) \frac{\left(0,81164 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,047 \text{ m}$$

$$H_L = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

$$= 0,269 + 0,047$$

$$= 0,3165 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } H_{\text{total}} &= H_p + H_v + H_L \\ &= 4,214 \text{ m} + 0 + 0,3165 \text{ m} \\ &= 4,53 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Mencari Daya Hidraulik (N_h)

$$N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \rho \text{ (Massa jenis air)} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ g \text{ (Percepatan Gravitasi)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ Q \text{ (Debit)} &= 0,00026 \text{ m}^3/\text{s} \\ H \text{ (Head Total)} &= 4,53 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya N_h ...?

$$\begin{aligned} N_h &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 4,53 \text{ m} \\ &= 11,692 \text{ watt} \\ &= 0,01169 \text{ kW} \end{aligned}$$

Keterangan : Daya hidrolis pada perhitungan diatas merupakan daya hidrolis untuk 2 pompa, karena debit (Q) yang digunakan pada perhitungan diatas merupakan debit total (pompa I + pompa II).

d. Mencari Daya Pompa (N_p)

$$N_p = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$\begin{aligned} T &= m \cdot g \cdot \mu_g \cdot r \\ &= 2,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,04 \cdot 0,26 \text{ m} \\ &= 0,2548 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Tabel 1

Materi	μ_s	μ_k
Baja pada baja	0.74	0.57
Aluminium pada baja	0.61	0.47
Tembaga pada baja	0.53	0.36
Kuningan pada baja	0.51	0.44
Seng pada besi tuang	0.85	0.21
Tembaga pada besi tuang	1.05	0.29
Kaca pada kaca	0.94	0.40
Tembaga di atas kaca	0.68	0.53
Teflon pada Teflon	0.04	0.04
Teflon pada baja	0.04	0.04
Karet pada beton (kering)	1.0	0.8
Karet pada beton (basah)	0.30	0.25

$$\begin{aligned} \omega &= \text{Kecepatan Sudut (} 2\pi n/60 \text{)} \\ &= 2 \cdot 3,14 (1.000 \text{ rpm}/60) \end{aligned}$$

$$= 104,6 \text{ rad/s}$$

Ditanya N_p ...?

$$N_p = 0,2548 \text{ Nm} \cdot 104,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$= 26,669 \text{ watt}$$

$$= 0,0267 \text{ kW}$$

Keterangan : karena menggunakan pompa dengan karakteristik yang sama serta pada pengoperasian kecepatan putaran pompa yang sama (rpm sama), maka daya pompa I (N_p I) = daya pompa II (N_p II) dengan nilai 0,0267 kW

$$\begin{aligned} \text{Jadi, daya pompa total (} N_p \text{ Total)} &= N_p \text{ Pompa I} + N_p \text{ Pompa II} \\ &= 0,0267 \text{ kW} + 0,0267 \text{ kW} \\ &= 0,0534 \text{ kW} \end{aligned}$$

e. Mencari Efisiensi

$$\text{efisiensi} = \frac{N_h}{N_p} \times 100$$

Dimana :

$$N_h \text{ (Daya Hidrolik)} = 0,01169 \text{ kW}$$

$$N_p \text{ (Daya Pompa)} = 0,0534 \text{ kW}$$

Ditanya efisiensi ...?

$$\begin{aligned} \text{efisiensi} &= \frac{0,01169 \text{ kW}}{0,0534 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 21,92 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Hasil pengolahan data

Tipe Pemasangan Pompa	Pengujian Kecepatan Putaran Pompa	v (m/s)	H (m)	N _h (kW)	T (Nm)	ω (rad/s)	N _p (kW)	Efisiensi (%)
Tunggal Pompa I	1000 Rpm	0,4983	0,9034	0,0014	0,2548	104,667	0,0267	5,367

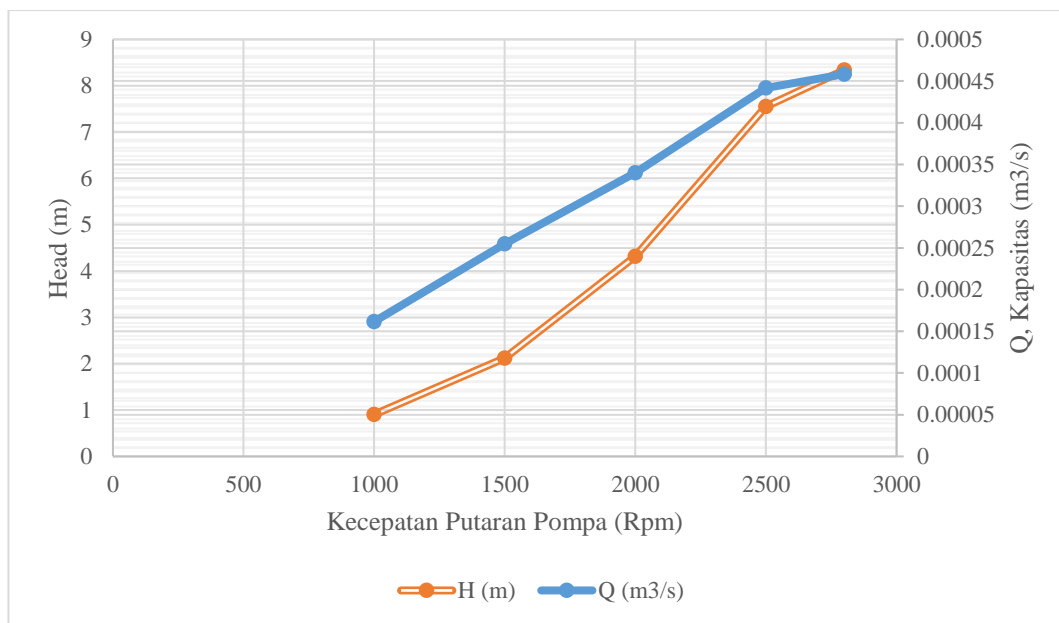
	1500 Rpm	0,7859	2,1191	0,0052	0,4077	157	0,0640	8,273
	2000 Rpm	1,0479	4,3172	0,0144	0,4077	209,333	0,0853	16,856
	2500 Rpm	1,3613	7,5494	0,0327	0,4077	261,667	0,1067	30,631
	2800 Rpm	1,4127	8,3383	0,0374	0,4586	293,067	0,1344	27,864
	1000 Rpm	0,4931	0,9030	0,0014	0,2548	104,667	0,0267	5,309
Tunggal Pompa II	1500 Rpm	0,6267	1,9428	0,0039	0,4077	157	0,064	6,048
	2000 Rpm	1,048	4,3256	0,0144	0,4077	209,333	0,0853	16,888
	2500 Rpm	1,361	7,5691	0,0328	0,4077	261,667	0,1067	30,711
	2800 Rpm	1,4127	8,3615	0,0375	0,4586	293,067	0,1344	27,942
	1000 Rpm	0,652	3,2291	0,0067	0,2548	104,667	0,0533	12,558
Seri	1500 Rpm	0,889	4,988	0,0141	0,4077	157	0,1280	11,011
	2000 Rpm	1,297	12,294	0,0507	0,4077	209,333	0,1707	29,705
	2500 Rpm	1,356	11,317	0,0488	0,4077	261,667	0,2133	22,872
	2800 Rpm	1,377	12,092	0,0529	0,4586	293,067	0,2688	19,69
	1000 Rpm	0,812	4,531	0,0117	0,2548	104,667	0,0533	21,921
Paralel	1500 Rpm	1,012	5,896	0,019	0,4077	157	0,1280	14,819
	2000 Rpm	1,099	6,972	0,0244	0,4077	209,333	0,1707	14,277

2500 Rpm	1,9007	25,174	0,1521	0,4077	261,667	0,2133	71,306
2800 Rpm	1,916	27,755	0,1691	0,4586	293,067	0,2688	62,901

4.2.5 Grafik Hasil Penelitian

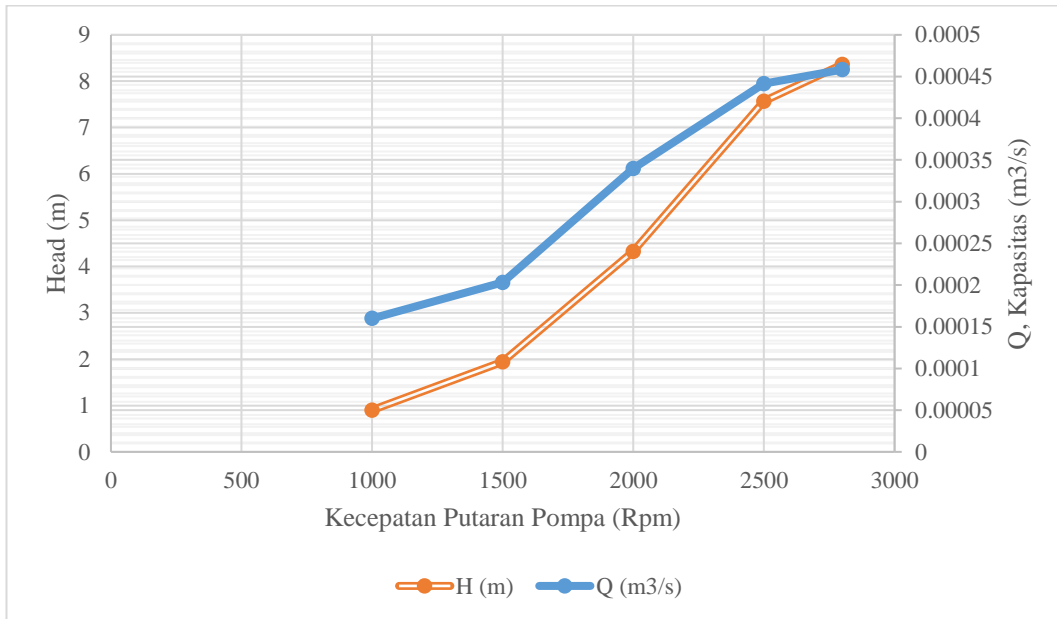
Dari tabel dan perhitungan data penelitian diatas dapat digambarkan beberapa grafik sebagai berikut :

- a. Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan tunggal pompa I.



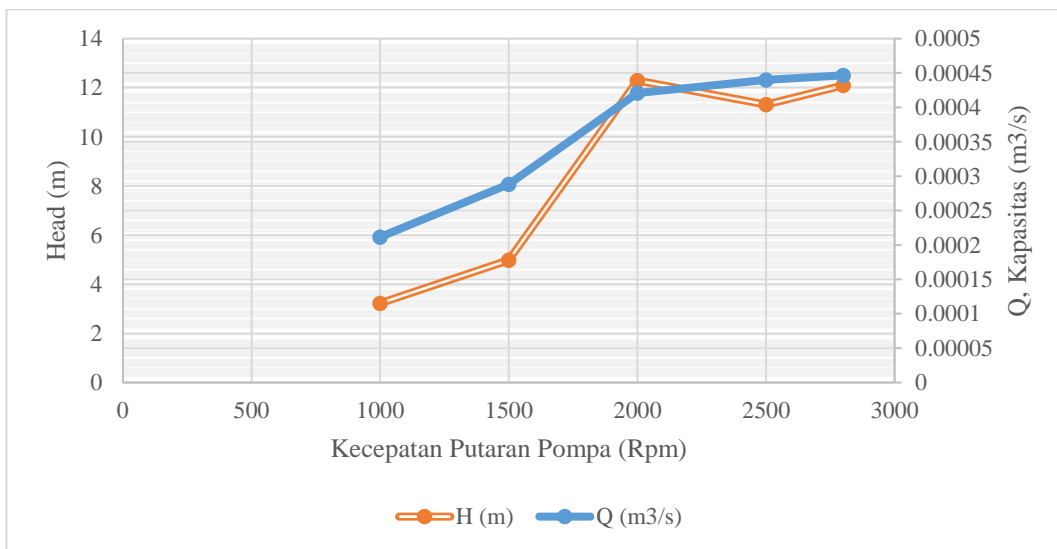
Grafik 4.1 Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan tunggal pompa I.

- b. Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan tunggal pompa II.



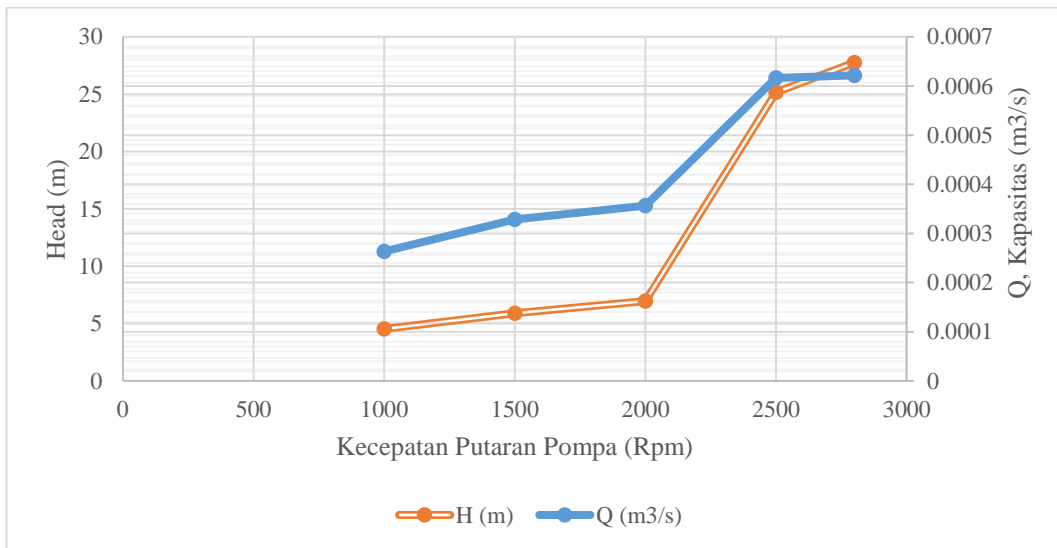
Grafik 4.2 Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan tunggal pompa II.

c. Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan Seri.



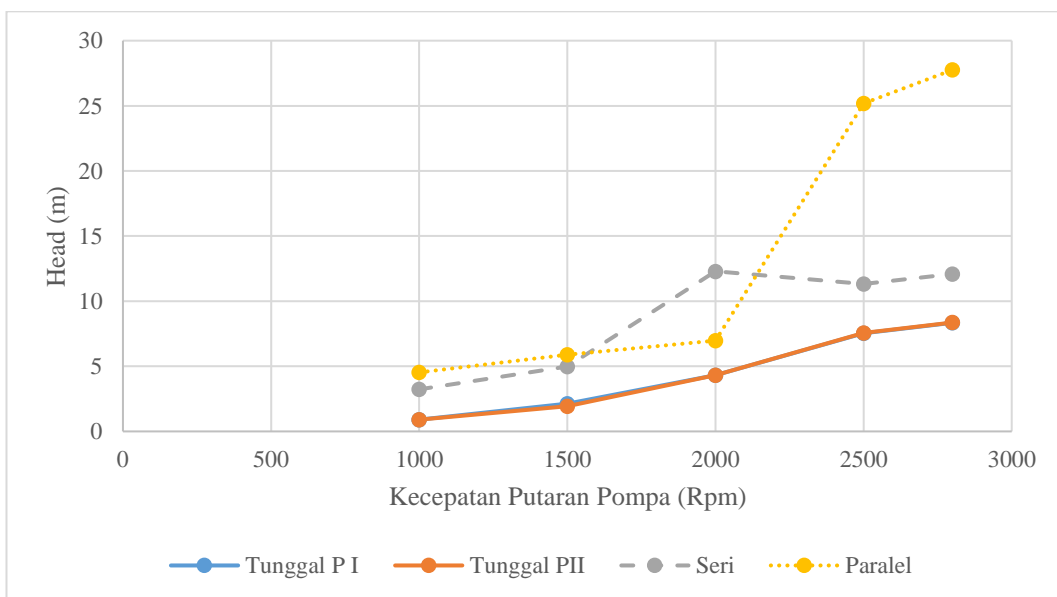
Grafik 4.3 Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan seri.

d. Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan paralel.



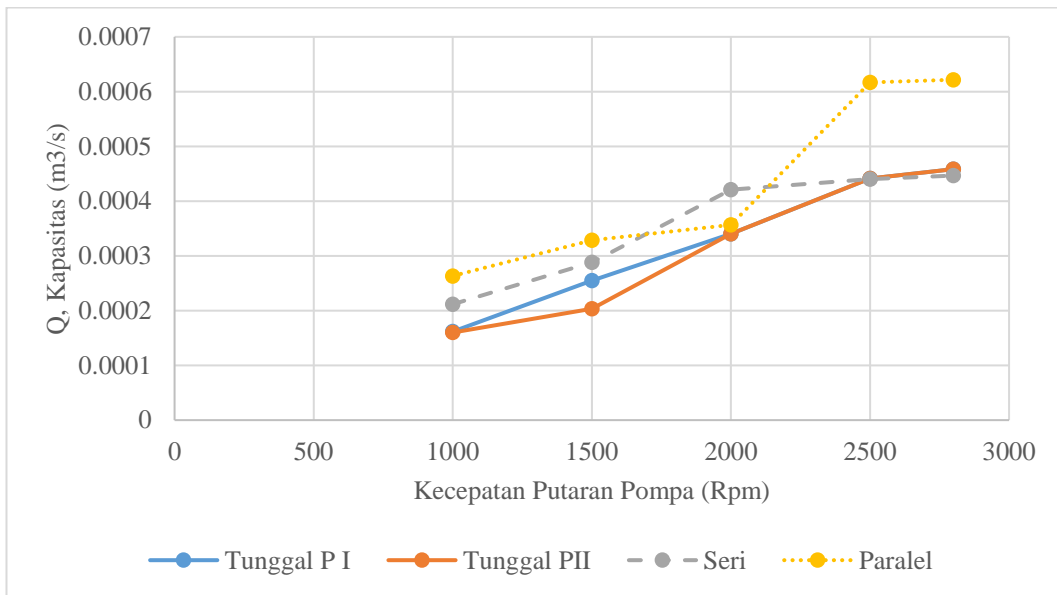
Grafik 4.4 Grafik Head dan Debit pada variasi kecepatan pompa tipe pemasangan Paralel.

- e. Grafik variasi kecepatan pompa pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel terhadap head.



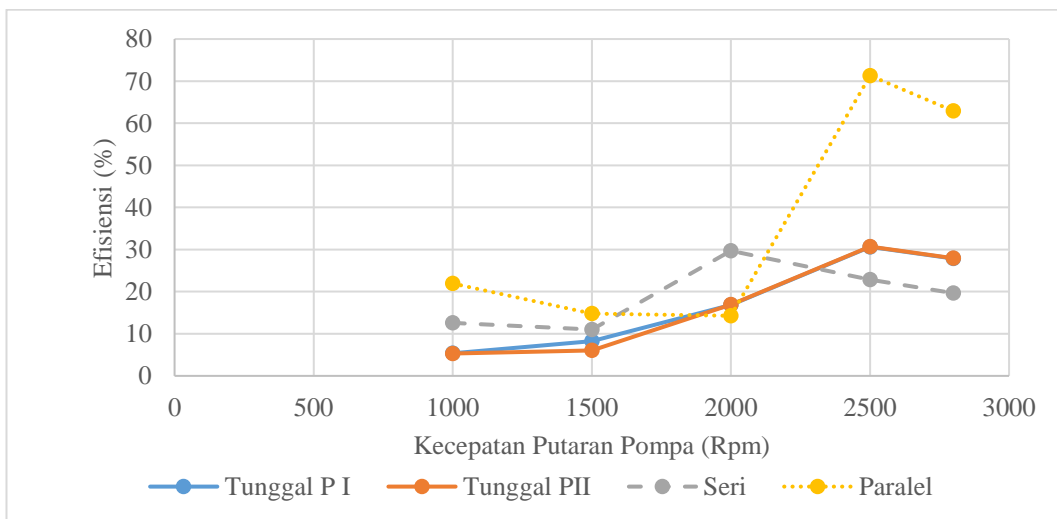
Grafik 4.5 variasi kecepatan pompa pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel terhadap head.

- f. Grafik variasi kecepatan pompa pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel terhadap kapasitas.



Grafik 4.6 variasi kecepatan pompa pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel terhadap kapasitas.

- g. Grafik variasi kecepatan pompa pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel terhadap efisiensi.



Grafik 4.7 variasi kecepatan pompa pada tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel terhadap efisiensi

4.3 Pembahasan

Berdasarkan grafik 4.1, grafik 4.2, grafik 4.3, dan grafik 4.4 menunjukkan bahwa kecepatan putaran pompa (rpm) sangat mempengaruhi nilai head dan kapasitas dimana semakin tinggi kecepatan putaran pompa

maka semakin tinggi pula nilai head dan kapasitasnya hal ini sesuai dengan hukum kesebangunan pompa, yang mana hukum ini sangat penting untuk menaksir perubahan performansi pompa bila putaran diubah. Pada Grafik 4.3 tipe pemasangan pompa seri didapatkan head tertinggi pada 2000 rpm kemudian mengalami penurunan lagi pada 2500 rpm. Berdasarkan grafik 4.4 tipe pemasangan pompa parallel pada 1000 – 2000 rpm dari 2 pompa yang dioperasikan salah satu pompa akan mengalami penurunan kecepatan putaran pompa (rpm) dan kemudian 2 pompa akan beroperasi bersamaan (tanpa ada penurunan kecepatan pompa) pada 2500 – 2800 rpm, sehingga menghasilkan grafik kenaikan drastis baik head maupun kapasitasnya, untuk kapasitas tertinggi ada pada 2800 rpm.

Fenomena pada penelitian ini, yaitu tipe pemasangan pompa parallel pada 1000-2000 rpm, dimana dari 2 pompa yang dioperasikan salah satunya akan mengalami penurunan kecepatan putaran. Hal ini kemungkinan disebabkan pipa header (pipa pertemuan dari 2 pipa keluaran masing-masing pompa) yang diameternya sama besarnya dengan diameter keluaran masing-masing pompa, sehingga fluida dari 2 pompa berebut masuk kedalam 1 pipa header, yang menyebabkan kenaikan head losses untuk salah satu pompa. Kenaikan head losses ini tidak mampu diatasi pompa pada kecepatan putaran 1000-2000 rpm sehingga pompa tersebut mengalami penurunan kecepatan putaran, namun mampu diatasi pompa pada kecepatan putaran 2500-2800 rpm sehingga 2 pompa dapat beroperasi secara bersamaan.

Berdasarkan grafik 4.5 dan grafik 4.6 menunjukkan bahwa dari tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel yang memiliki head dan kapasitas tertinggi adalah tipe pemasangan pompa parallel. Pada tipe pemasangan tunggal pompa I dan pompa II grafiknya mendekati berhimpit hal ini dikarenakan pompa yang digunakan merupakan pompa dengan karakteristik yang sama sehingga menghasilkan performansi yang sama.

Pada pompa yang disusun secara seri menghasilkan kurva yang hasilnya tidak sama dengan dua kali lipat head pada pompa yang disusun secara tunggal, karena ada perubahan yang berupa kenaikan kapasitas. Sedangkan pada pompa yang disusun secara paralel menghasilkan kurva yang hasilnya tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas pada pompa yang disusun secara tunggal, karena ada perubahan kenaikan head. Hasil ini sama seperti referensi yang digunakan pada skripsi ini (Buku Pompa dan Kompressor karya Sularso dan Haruo Tahara) tentang operasi seri dan parallel dari pompa dengan karakteristik yang sama.

Berdasarkan grafik 4.7 menunjukkan bahwa dari tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan parallel yang memiliki efisiensi tertinggi adalah tipe pemasangan pompa parallel. Untuk pompa tunggal efisiensi tertinggi pada

2500 rpm, untuk pompa seri efisiensi tertinggi pada 2000 rpm kemudian mengalami penurunan pada 2500 dan 2800 rpm sedangkan untuk pompa parallel efisiensi tertinggi pada 2500 rpm yang kemudian mengalami penurunan pada 2800 rpm.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Dari penelitian pengaruh variasi kecepatan putaran pompa terhadap kapasitas, head dan efisiensinya, apabila pompa dipasang secara tunggal, seri dan paralel dapat disimpulkan :

1. Pada tipe pemasangan pompa tunggal head dan kapasitas tertinggi pada kecepatan putaran pompa 2800 rpm, sedangkan efisiensi tertinggi pada kecepatan putaran pompa 2500 rpm dengan nilai 30,711 %
2. Pada tipe pemasangan pompa seri head tertinggi ada pada kecepatan putaran pompa 2000 rpm dan kapasitas tertinggi pada kecepatan putaran pompa 2800 rpm. Serta untuk efisiensinya tertinggi pada kecepatan pompa 2000 rpm dengan nilai 29,704%.
3. Pada tipe pemasangan pompa paralel head dan kapasitas tertinggi ada pada kecepatan pompa 2800 rpm. Untuk Efisiensinya tertinggi ada pada kecepatan pompa 2500 rpm dengan nilai 71,305%.
4. Dari tipe pemasangan pompa tunggal, seri dan paralel yang memiliki head, kapasitas dan efisiensi tertinggi adalah tipe pemasangan pompa paralel

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan sensor kecepatan putaran pompa untuk memudahkan proses pengambilan data

2. Untuk penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan system pipa yang sama dengan jenis pompa yang berbeda karakteristiknya.
3. Untuk penelitian selanjutnya hendaknya meneliti fenomena yang terjadi pada penelitian ini.
4. Untuk aplikasi di lapangan hendaknya mempertimbangkan system pipa dan cara mengoperasikan pompa khususnya pada tipe pemasangan pompa seri dan parallel.

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, S. dan Karnowo, 2008, Buku Ajar Dasar Pompa, Semarang: Universitas Negeri Semarang, Semarang
- Budi Johan, Agus Wibowo, Irfan Santoso, 2014, Variasi Tinggi Pipa Hisap adapompa terhadap perubahan kapasitas saluran (Aplikasi pada penampungan ember tumpah *waterboom*). Jurnal. Universitas Pancasakti, Tegal
- Candra, Riki Putra, 2018, Perancangan pompa sentrifugal dan diameter luar impeller untuk kebutuhan air kapasitas 60 LPM gedung F dan D di Universitas Muhammadiyah Tangerang, Jurnal. Universitas Muhammadiyah, Tangerang
- Delly, Jenny, 2009, Pengaruh temperatur terhadap terjadinya kavitas pada sudu pompa sentrifugal, Jurnal. Universitas Haluoleo, Kendari
- Dongoran, Junedo Gandani, 2012, Analisis performansi pompa sentrifugal susunan tunggal, seridan parallel (skripsi). Medan : Universitas Sumatra Utara
- Masyhudi, Ahmad Zayadi, Basori, 2014, Uji fungsi dan karakterisasi Pompa Sentrifugal, Jurnal. Universitas Nasional, Jakarta
- M. Faisal Yamin, 2016, Perancangan dan pengujian alat uji pompa seridan parallel. (skripsi). Lampung : Universitas Lampung
- Mustakim, 2015, Pengaruh kecepatan sudu terhadap efisiensi pompa sentrifugal jenis tunggal, Jurnal. Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan
- Nugroho, Sigit, Wibawa .E.J, Dwi Aries Himawanto, 2014, Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja dan kavitas pompa sentrifugal, Jurnal. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Raihan Bayu Dwantoro, 2019, Pengaruh Jumlah Sudu Impeller Terhadap Unjuk Kerja Pompa Sentrifugal. (skripsi). Tegal : Universitas Pancasakti
- Rombe Allo, Allo S. Pongsapan, 2018, Upaya peningkatan unjuk kerja pompa sentrifugal dengan pemasangan *inducer* pada *lock nut impeller*, Jurnal. Universitas Cenderawasih, Jayapura
- Sujatmiko, 2015, Analisis pengaruh pemasangan pompa sentrifugal secara tunggal, seridan parallel, Jurnal. Universitas Islam, Malang.

Sularso, Haruo Tahara, 1983, Pompa & Kompresor. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta, 2000

Sufyan, Ahmad, Didit Sumardiyanto, 2017, Analisa perhitungan pompa sirkulasi WWTP limbah pada area painting steel di PT. Cakra Indopaint Cemerlang, Jurnal. Universitas 17 Agustus 1945, Jakarta

Supardi, 2015, Pengaruh variasi debit alirandan pipaisap (Section) terhadap karakteristik pompa sentrifugal yang dioperasikan secara parallel, Jurnal. Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya

Veri Tri Sutrisno, 2010, Pompa Sentrifugal 2 Pipa Output Dengan Variasi Head dan Diameter. (skripsi). Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.

Widyan, Ardi P, 2015, Perencanaan pompa Sentrifugal dengan kapasitas 1,5 m³/menit. (skripsi). Surakarta : Universitas Muhammadiyah

Widodo, Edi, Indah Sulistyowati, 2016, Penelitian Rekayasa performansi pompa sentrifugal untuk menurunkan head loss, Jurnal. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

[Www.http://digilib.unila.ac.id/6872/15/15%20BAB%20II.pdf](http://digilib.unila.ac.id/6872/15/15%20BAB%20II.pdf) (Diakses 2 Februari 2020)

[Www.http://individualinvestorkou.blogspot.com/2015/03/aliran-fluida-incompressible.html](http://individualinvestorkou.blogspot.com/2015/03/aliran-fluida-incompressible.html) (Diakses 2 Februari 2020)

LAMPIRAN

