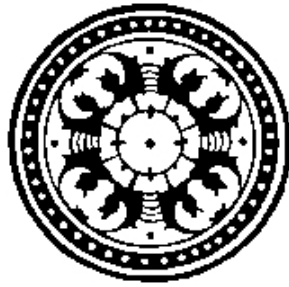


**PEDOMAN PRAKTIKUM
PRESTASI MESIN
BAGIAN : POMPA**



Oleh :

Ir. Made Suarda, M.Eng.

**LABORATORIUM KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS UDAYANA
Pebruari 2017**

KATA PENGANTAR

Puji syukur patut dipersembahkan kehadiran Ida Sang Hyang Widhi Wasa, hanya berkat perkenan Beliaulah serta usaha keras penulis, Pedoman Praktikum Pompa ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Pedoman ini bertujuan untuk memberikan petunjuk dalam melaksanakan Praktikum Keahlian Konversi Energi di bidang 'Performansi Mesin' pada khususnya bagian 'Performansi Pompa'.

Pedoman ini masih jauh dari sempurna, untuk itu diperlukan saran dan masukan untuk menyempurnakan pedoman ini. Semoga pedoman ini bermanfaat untuk berbagai pihak.

Penulis,

DAFTAR ISI

Sampul Depan	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	1
1.3. Tujuan	1
BAB II DASAR TEORI	2
2.1. Definisi dan Prinsip Kerja Pompa	2
2.2. Persamaan Dasar Mekanika Fluida untuk Pompa	7
2.3. Kapasitas Pompa	11
2.4. Head Pompa	12
2.5. Faktor Gesek pada Pipa	16
2.6. Net Positive Suction Head (NPSH)	18
2.7. Daya	19
2.8. Efisiensi	21
2.9. Putaran	22
2.10. Kurva Head – Kapasitas Pompa	23
2.11. Pengaturan Operasi Pompa	24
2.12. Operasi Paralel dan Operasi Seri	26
BAB III METODE PENGEMBANGAN SISTEM PEMBELAJARAN	28
3.1. Prosedur Pengujian	28
3.2. Tugas	35
DAFTAR PUSTAKA	39
Lampiran	40

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Mata kuliah 'Pompa dan Kompresor' dengan kode KE. 7510 yang berbobot 3 sks merupakan salah satu dari tiga mata kuliah konsentrasi wajib Konversi Energi yang harus ditempuh mahasiswa jurusan Teknik Mesin. Mata kuliah penunjangnya adalah Mekanika Fluida dan Termodinamika. Di lain pihak mata kuliah pompa dan kompresor menunjang 'Praktikum Keahlian Konversi Energi' dimana sesuai dengan Standar Minimum Laboratorium Teknik Mesin (Dirjen Dikti, 2005) terdapat substansi kajian 'Performansi Pompa'.

Metode pembelajaran yang telah dilaksanakan hingga saat ini adalah ceramah, diskusi, presentasi dan kunjungan lapangan. Contoh-contoh instalasi pompa yang telah terpasang di lapangan juga disampaikan kepada mahasiswa, serta permasalahan-permasalahannya. Tentunya dengan metode tersebut mahasiswa pada umumnya masih kesulitan memahami topik 'Performansi Pompa', mengingat akan terjadi penyimpangan kurve performansi pompa saat pompa tersebut dioperasikan.

Kompetensi merupakan kualifikasi kemampuan minimal mahasiswa yang menggambarkan penguasaan pengetahuan, sikap, dan ketrampilan yang diharapkan dicapai pada setiap mata kuliah. Untuk meningkatkan kompetensi yang harus dicapai dalam setiap mata kuliah untuk membentuk kompetensi lulusan adalah Ketrampilan Praktis (*practical Skill*) disamping *knowledge and understanding, intellectual skill*, serta *managerial skill and attitude*.

I.2. Permasalahan

Adapun permasalahannya adalah bagaimana performansi pompa pada berbagai kondisi pengaturan operasional, baik pada pompa tunggal, susunan pompa seri atau paralel.

I.3. Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari kegiatan ini adalah:

1. Untuk memahami performansi operasi pompa pada berbagai kondisi pengaturan
2. Untuk memahami performansi operasi pompa yang disusun seri atau paralel

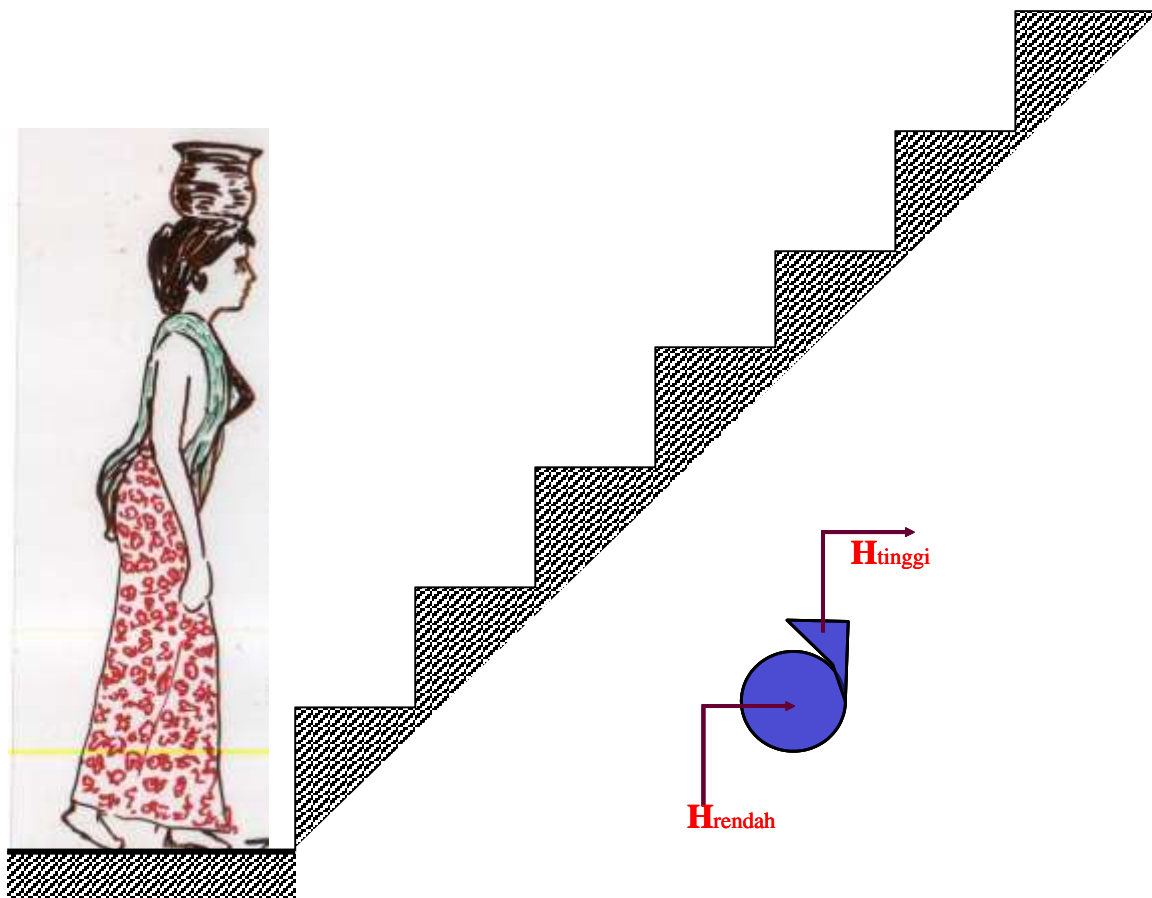
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Definisi dan Prinsip Kerja Pompa

2.1.1. Definisi Pompa

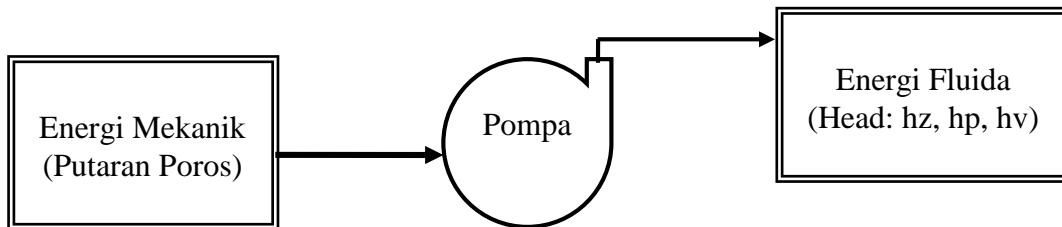
Pompa adalah suatu mesin yang digunakan untuk menaikkan cairan dari head (elevasi, tekanan, kecepatan) yang rendah ke head yang lebih tinggi, seperti ilustrasi pada gambar 2.1. Agar supaya bisa bekerja, pompa membutuhkan gaya putar (daya poros) dari mesin penggerak (motor, engine). Di dalam roda jalan (impeller) fluida mendapat percepatan sedemikian rupa sehingga fluida tersebut mempunyai kecepatan mengalir ke luar sudu dari sudu-sudu roda jalan. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi head statis di sudu-sudu pengarah atau rumah pompa.



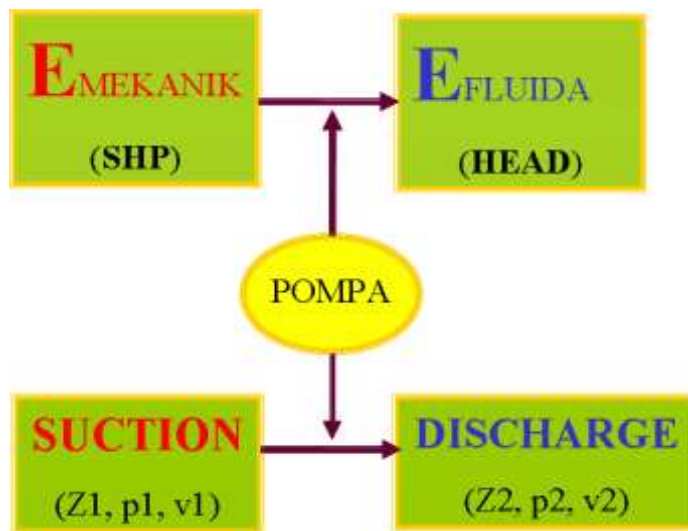
Gambar 2.1 Ilustrasi definisi pompa

2.1.2. Prinsip Kerja Pompa

Jadi pompa dalam kerjanya akan mentransfer energi mekanis dari suatu sumber energi luar (prime mover) ke cairan yang mengalir melaluinya, sehingga cairan tersebut dapat mengalir seperti skema pada gambar 2.2 dan 2.3.

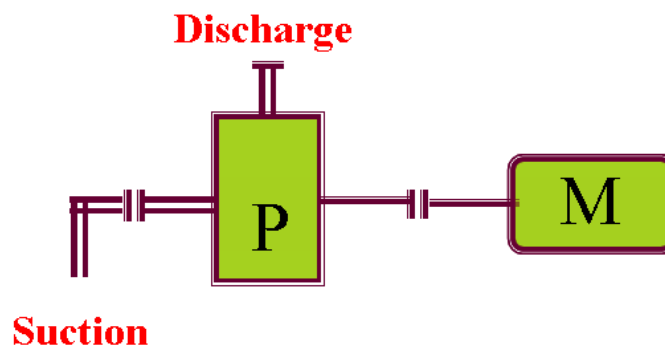


Gambar 2.2 Konversi energi pada pompa

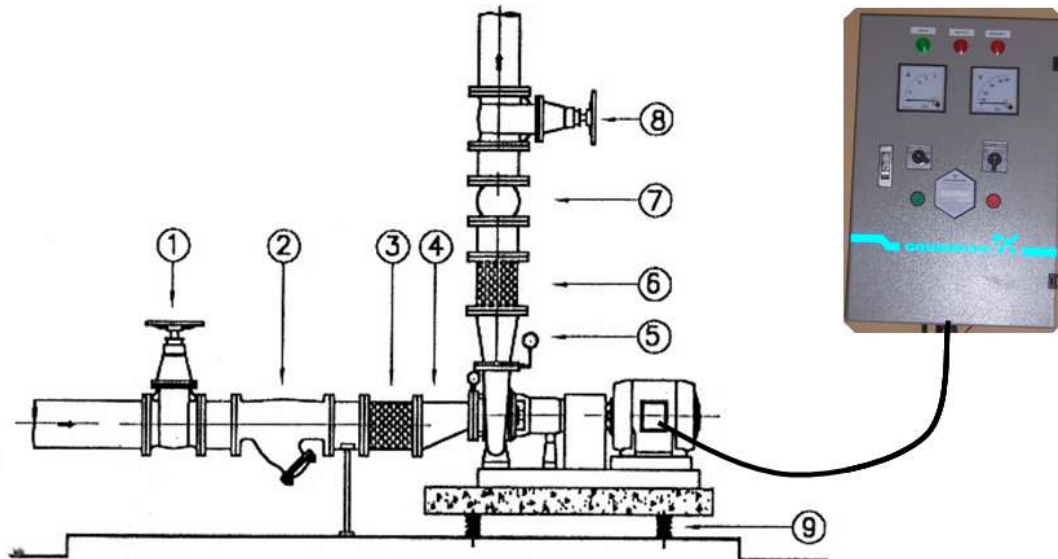


Gambar 2.3 Transformasi energi pada pompa

Jadi, pompa adalah alat untuk mengisap dan menekan/ mengalirkan fluida seperti skema pada gambar 2.4.



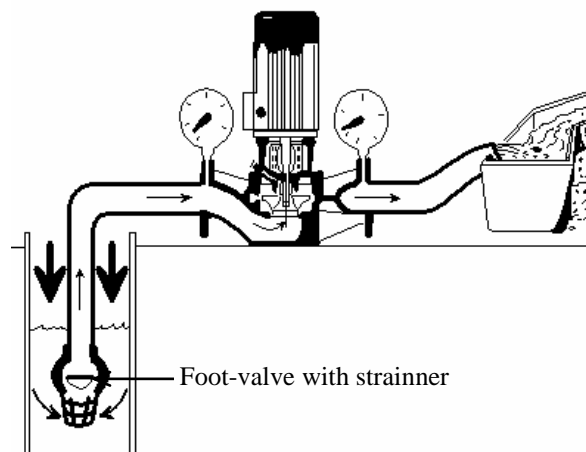
Gambar 2.4 Kerja pompa



Gambar 2.5 Instalasi sistem pompa

Sistem instalasi pompa seperti pada gambar 2.5, dilengkapi dengan :

- Perpipaan isap (*suction*) yang terdiri dari:
 - *stop-valve* (1), pada pompa yang didesain bekerja *positive-suction valve*/katup ini digunakan untuk menyetop aliran fluida ke pompa sewaktu-waktu dibutuhkan misalnya saat perbaikan pompa supaya air tidak meluber ke ruang/rumah pompa. Tetapi untuk pompa yang didesain bekerja *negative-suction valve*/katup ini tidak diperlukan dan sebaiknya tidak ada, namun untuk pompa yang didesain bekerja *negative-suction* justru *foot-valve*/klep dibutuhkan agar supaya fluida yang ada dalam pipa isap tidak kembali dan pipa isap tidak kosong sehingga saat menghidupkan pompa kembali tidak dibutuhkan pancingan fluida.



Gambar 2.6 Pompa bekerja *negative-suction*

- *strainer* (2), untuk mengamankan pompa dari pasir atau benda-benda asing yang mungkin terbawa oleh aliran fluida.
- *flexible-joint* (3), dibutuhkan supaya getaran pompa tidak diteruskan ke sistem instalasi perpipaannya.
- *inconcentric-reducer* (4), bagian datarnya harus diletakkan dibagian atas agar supaya tidak ada udara terperangkap.
- Perpipaan tekan (*discharge*) yang terdiri dari :
 - *concentric-diffuser* (5), pembesaran ini dibutuhkan untuk menurunkan kecepatan aliran fluida dalam pipa (berkisar 0,6 ~ 2,5 m/det) sehingga head-losses yang terjadi tidak terlalu besar.
 - *flexible-joint* (6), dibutuhkan supaya getaran pompa tidak diteruskan ke sistem instalasi perpipaannya.
 - *check-valve* (7), untuk mencegah supaya pada saat pompa mati/distop aliran balik fluida tidak menghantam impeller pompa.
 - *stop-valve* (8), untuk mengatur operasi pompa dan menutup aliran fluida saat maintenen pompa.
 - *pressure-gauge/manometer*, untuk mengetahui tekanan operasi pompa.

➤ Panel pompa

Operasi pompa diatur oleh panel pompa. Jenis panel pompa sangat tergantung dari besar-kecilnya pompa dan kompleksitas sistem pengaturannya, jenis-jenisnya antara lain:

DOL (Direct On Line)

$$I_s = (4 \sim 8) I_n \quad T_s = (0,5 \sim 1,5) T_n$$

Lonjakan I & T tinggi & Penurunan tegangan

Sederhana, untuk daya motor rendah

Star-Delta

$$I_s = (2 \sim 4) I_n \quad T_s = (0,3 \sim 0,75) T_n$$

Lonjakan I & T tinggi

Daya motor rendah s/d menengah

Auto Transformer

$$I_s = (1,7 \sim 4) I_n \quad T_s = (0,6 \sim 0,85) T_n$$

Lonjakan I & T tinggi & penurunan tegangan besar

Kompleks, untuk Daya motor besar

Soft-Start dan/atau Soft-Stop

Start & Stop aman & terkendali & halus

Proteksi thermal, overload & underload

Tidak terjadi Lonjakan I & T & penurunan tegangan

Kompleks & Investasi tinggi

Menghilangkan Water Hammer

Optimasi catu daya

Variable Speed / Inverter

Sama dengan Soft Starter ditambah kemampuan merubah putaran :

$$\text{Flow} : Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$\text{Head} : H_1/H_2 = (n_1)^2/(n_2)^2$$

$$\text{Power} : P_1/P_2 = (n_1)^3/(n_2)^3$$

2.1.3. Pemakaian Pompa

Pemakaian pompa sangat luas, antara lain:

- Suplai air bersih (domestik), yaitu untuk pelayanan pada rumah-rumah, kebun dan kebutuhan lainnya.
- Sistem pelayanan pemanas dan air panas, yaitu untuk mensirkulasikan air panas sistem pemanas dan mensirkulasikan pelayanan air panas.
- Sistem pendingin dan AC, yaitu untuk mensirkulasikan air pendingin dan cairan lainnya dalam sistem pendingin dan AC.
- Aplikasi pada industri, yaitu mengalirkan air, pelumas dan cairan lainnya pada sistem industri dan proses.
- Penguat tekanan (*Pressure Boosting*) dan mentransfer cairan, yaitu untuk mengalirkan cairan dan penguat (*booster*) tekanan pada sistem distribusi air.
- Suplai air bawah tanah, seperti pompa submersible (*deep well pump*) banyak digunakan untuk suplai air bawah tanah, dan irigasi.
- Sistem air kotor (*sewerage*) dan air buangan (*drainage*), yaitu pemakaian pada bangunan-bangunan untuk menglirkan air kotor dan/atau air buangan.
- Pompa dosing (injeksi zat kimia), yaitu untuk sistem pengolahan air kotor, kolam renang dan industri.

2.2. Persamaan Dasar Mekanika Fluida untuk Pompa

2.2.1. Persamaan Kontinuitas

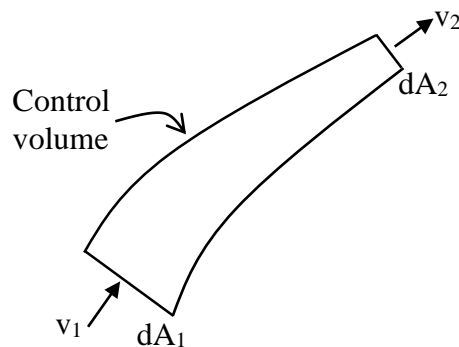
Persamaan kontinuitas dikembangkan dari prinsip dasar konservasi massa.

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \cdot dV + \int_{cs} \rho \cdot v \cdot dA = 0$$

Dengan catatan bahwa pada pompa, volume spesifik v biasanya diabaikan, dan sebaliknya pada kompresor.

Perhatikan aliran *steady* melalui tabung/pipa seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Aliran *steady* melalui tabung

Karena alirannya *steady*, oleh karena itu $\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \cdot dV = 0$, maka:

$$\int_{cs} \rho \cdot v \cdot dA = 0$$

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot dA_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot dA_2 \quad (2.2)$$

Persamaan kontinuitas, pers.(2.2), mungkin ditulis dalam bentuk debit menjadi:

$$\rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad (2.3)$$

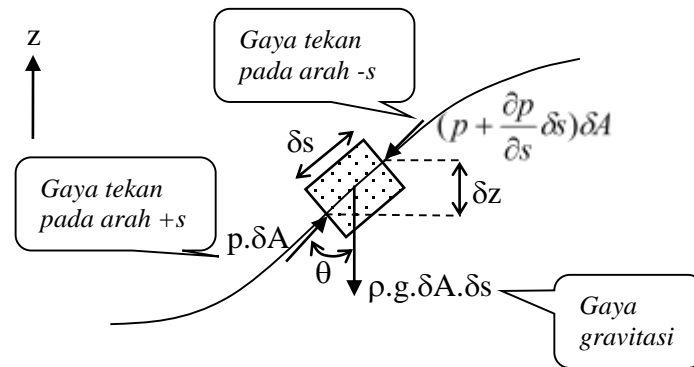
Dan untuk aliran tak termampatkan (*incompressible*),

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (2.4)$$

Persamaan ini adalah sangat bermanfaat dalam analisa aliran dalam pompa.

2.1.2. Persamaan Euler

Dalam gambar 2.8, sebuah partikel fluida dengan massa $\rho \cdot \delta A \cdot \delta s$ bergerak sepanjang garis streamline pada arah $+s$. Diasumsikan bahwa viskositasnya adalah nol (tanpa gesekan).



Gambar 2.8 Komponen-komponen gaya pada partikel fluida dalam garis streamline

Komponen gaya partikel pada arah s adalah $-\rho \cdot g \cdot \delta A \cdot \delta s \cdot \cos \theta$. Substitusikan ke dalam hukum Newton II, maka:

$$\sum f_s = \delta m \cdot a_s$$

$$p \cdot \delta A - (p + \frac{\partial p}{\partial s} \delta s) \delta A - \rho \cdot g \cdot \delta A \cdot \delta s \cdot \cos \theta = \rho \cdot g \cdot \delta A \cdot \delta s \cdot a_s$$

Dengan sama-sama dibagi $\rho \cdot g \cdot \delta A \cdot \delta s$, maka:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \cos \theta + a_s = 0$$

Dimana:

$$\frac{\delta z}{\delta s} = \cos \theta = \frac{\partial z}{\partial s}$$

$$a_s = \frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial v}{\partial t}$$

$$dv = \frac{\partial v}{\partial s} ds + \frac{\partial v}{\partial t} dt$$

Jadi,

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{\partial z}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \tag{2.5}$$

Jika alirannya adalah *steady*, maka $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$, dan p, z, v hanya fungsi dari s , serta tanpa gesekan (viskositas = 0), maka:

$$\frac{dp}{\rho} + g \cdot dz + v \cdot dv = 0 \quad (2.6)$$

2.2.3 Persamaan Energi

Berdasarkan hukum Termodinamika I untuk sebuah sistem, maka:

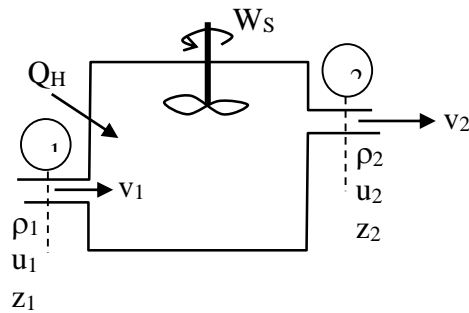
$$Q_H - W_S = E_2 - E_1 \quad (2.7)$$

$$\frac{\delta Q_H}{\delta t} - \frac{\delta W_S}{\delta t} = \frac{\delta E}{\delta t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \cdot e \cdot dv + \int_{cs} \rho \cdot e \cdot v \cdot dA$$

$$\delta W_S = \delta t \cdot \int p \cdot v \cdot dA$$

$$e = \frac{dE}{dm} = g \cdot z + \frac{v^2}{2} + u$$

$$\frac{\delta Q_H}{\delta t} - \frac{\delta W_S}{\delta t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \cdot e \cdot dv + \int_{cs} \left(\frac{p}{\rho} + e \right) \rho \cdot v \cdot dA \quad (2.8)$$



Gambar 2.9 Volume kontrol dengan aliran melintasi bidang kontrol

Jika pers.(2.8) digunakan pada aliran *steady* dalam gambar 2.9, integral volumenya dikeluarkan maka menjadi:

$$\frac{\delta Q_H}{\delta t} + \left(\frac{p_1}{\rho_1} + g \cdot z_1 + \frac{v_1^2}{2} + u_1 \right) \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \frac{\delta W_S}{\delta t} + \left(\frac{p_2}{\rho_2} + g \cdot z_2 + \frac{v_2^2}{2} + u_2 \right) \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2$$

Karena alirannya *steady*, berarti:

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Maka:

$$\frac{Q_H}{m} + \frac{p_1}{\rho_1} + g \cdot z_1 + \frac{v_1^2}{2} + u_1 = \frac{W_S}{m} + \frac{p_2}{\rho_2} + g \cdot z_2 + \frac{v_2^2}{2} + u_2 \quad (2.9)$$

2.2.4. Persamaan Bernoulli

Integrasi dari persamaan Euler, pers.(2.6), untuk massa jenis yang konstan (*incompressible flow, steady, frictionless*) menghasilkan:

$$\boxed{\frac{p}{\rho} + g \cdot z + \frac{v^2}{2} = \text{konstan}} \quad (2.9)$$

Dimana:

p/ρ = Energi aliran per satuan massa

$g \cdot z$ = Energi potensial per satuan massa

v^2/ρ = Energi kinetik per satuan massa

Jika pers.(2.9) dibagi dengan g (gravitasi), maka:

$$\frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} = \text{konstan}$$

atau

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.10)$$

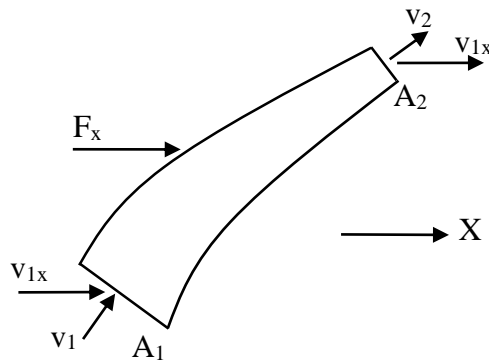
Ini dapat diinterpretasikan sebagai energi per satuan berat. Persamaan ini sangat bermanfaat dalam penyelesaian masalah-masalah fluida cair. Setiap bagian dari persamaan Bernoulli dapat diinterpretasikan sebagai bentuk energi.

2.2.5. Persamaan Momentum

Hukum Newton-II untuk suatu sistem adalah:

$$\sum F = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{cv} \rho \cdot v \cdot dV + \int_{cs} \rho \cdot v \cdot v \cdot dA$$

Gaya resultan yang bekerja pada volume kontrol adalah sama dengan laju perubahan momentum linear di dalam volume kontrol ditambah *net efflux* momentum dari volume kontrol.



Gambar 2.10. Volume control dengan aliran *uniform* pada arah tegak lurus penampang

Dalam gambar 2.10, dengan aliran *steady*, gaya F_x yang bekerja adalah:

$$F_x = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot v_{x2} - \rho_1 \cdot A_1 v_1 \cdot v_{x1} \quad (2.11)$$

atau

$$F_x = \rho \cdot Q(v_{x2} - v_{x1}) \quad (2.12)$$

Jika kecepatan bervariasi sepanjang bidang potong, maka diperlukan faktor koreksi momentum (β).

$$\beta = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{v}{V} \right)^2 \cdot dA \quad (2.13)$$

dimana:

$\beta = 4/3$, untuk aliran laminar di dalam tabung bulat lurus

$\beta < 1$, untuk aliran *uniform*

2.3. Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa adalah jumlah fluida yang dialirkan oleh pompa dalam satu satuan waktu (m^3/detik).

Menentukan kapasitas pompa dengan menggunakan persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas dihasilkan dari prinsip kekekalan massa. Untuk aliran mantap (*steady*) masa fluida yang melalui semua bagian dalam arus fluida persatuan waktu adalah sama. Melalui persamaan kontinuitas hubungan antara kecepatan aliran fluida, luas penampang pipa dan debit aliran zat cair dapat ditentukan dengan rumus :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.14)$$

Atau :

$$Q = \bar{V} \cdot A \quad (2.15)$$

Dimana :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Q = debit aliran (m^3/s).

V = volume fluida (m^3).

t = waktu (s)

A = luas penampang pipa (m^2).

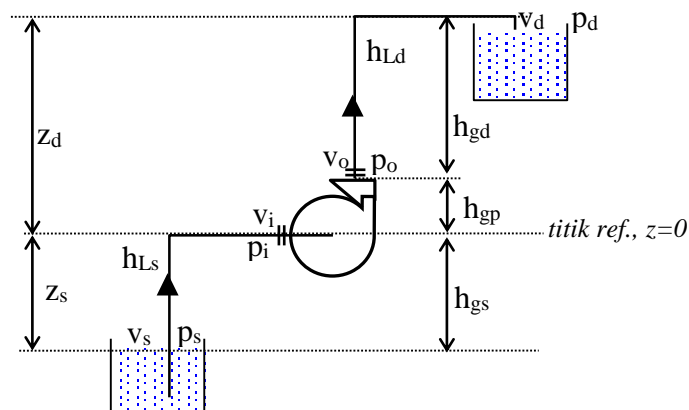
v = Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

D = diameter pipa (m).

2.4. Head Pompa

Head merupakan energi spesifik per satuan berat fluida, head pada umumnya dinyatakan dalam tinggi kolom fluida yang dinyatakan dalam dalam satuan meter atau ft.

Head pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah zat cair sesuai dengan yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa. Sebagai contoh, sistem instalasi pompa seperti pada gambar 2.1. Maka head pompa yang disediakan untuk mengalirkan zat cair dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.11.



Gambar 2.11 Head Pompa

$$H_p = Z_d - Z_s + \left(\frac{P_d - P_s}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} \right) + H_L \quad (2.16)$$

Dimana:

H_p : Head pompa (m)

Z_d : Tinggi pipa buang/*discharge* (m)

Z_s : Tinggi permukaan fluida pada pipa isap/*suction* (m)

P_d : Tekanan fluida pada sisi buang/*discharge* (N/m²)

P_s : Tekanan fluida pada sisi isap/*suction* (N/m²)

γ : Berat jenis fluida, $\rho \cdot g$ (N/m³)

v_d : Kecepatan aliran pada sisi buang (m/s)

v_s : Kecepatan fluida pada sisi isap (m/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

H_L : Berbagai kerugian (Head Loss)

2.5.1. Head Losses (H_L)

Head Losses adalah kerugian-kerugian head/energi pada aliran yang disebabkan oleh adanya faktor gesek fluida pada dinding dalam pipa, adanya katup-katup, belokan, dan lain-lainnya. Head Losses ada dua macam yaitu *Mayor Losses* dan *Minor Losses*.

a. Mayor Losses

Mayor Losses adalah kerugian head yang disebabkan oleh terjadinya gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa. Mayor Losses dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dinding pipa bagian dalam, kecepatan aliran fluida serta panjang pipa. Besarnya Mayor Losses dapat dihitung dengan rumus Darcy Weisbach sebagai berikut :

$$H_{LM} = f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.17)$$

Dimana :

H_{LM} = Mayor Losses (m)

f = faktor gesekan

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa bagian dalam (m)

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Metode lain untuk menghitung head losses adalah Hazen-Williams.

Persamaan Hazen-Williams (turbulent flow)

$$V = 0,850 C R_h^{0,63} S^{0,54} \text{ m/dt}$$

$$Q = 0,850 C R_h^{0,63} S^{0,54} A \text{ (m}^3\text{/dt)}$$

$$h_f = \frac{6.78L}{D^{1.165}} \left(\frac{v}{C} \right)^{1.85}$$

dimana :

R_h : jari-jari hidrolik pipa

S : condong garis total head

A : luas penampang pipa

C : koefisien kekasaran

Jenis pipa	C	n
PVC	150	0,009
Pipa sangat mulus	140	0,01
Pipa baja atau besi tuang baru	130	0,014
Pipa kayu atau beton biasa	120	0,016
Pipa baja berkeling baru, pipa gerabah	110	0,017
Pipa besi tuang lama, pipa bata	100	0,020
Pipa baja berkeling lama	95	
Pipa besi tuang berkarat	80	0,035
Pipa besi atau baja sangat berkarat	60	

Disamping itu ada formula Manning, namun metode ini sangat kasar sehingga tidak sesuai untuk menghitung kerugian aliran dalam pipa, namun dapat digunakan dalam analisa irigasi.

b. Minor Losses

Minor Losses adalah kerugian-kerugian yang disebabkan oleh adanya kerugian energi/head pada asesories pipa seperti belokan-belokan, katup-katup, percabangan dan perubahan luas penampang pipa saluran. Besarnya minor losses dapat dihitung dengan persamaan :

$$H_{Lm} = k \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2.18)$$

Dimana :

H_{Lm} = Minor Losses (m)

k = koefisien kerugian pada asesories pipa

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

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Cara untuk menentukan harga k untuk berbagai perlengkapan pipa dapat dirinci sebagai berikut:

(1) Ujung Masuk Pipa (*Entrance*)

Untuk ujung isap hanya berisi saringan/strainer, $k = 0,5$

Untuk ujung isap yang dilengkapi foot-valve dan strainer,

$$k = 1,5 \quad (D \geq 150 \text{ mm})$$

$$k = 2,0 \quad (D \leq 125 \text{ mm})$$

(2) Belokan Pipa (*Elbow*)

Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller:

$$k = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \quad (2.19)$$

Untuk belokan patah, dari percobaan Weisbach dihasilkan rumus umum:

$$k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (2.20)$$

Dimana:

D = Diameter pipa (m)

R = Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

θ = Sudut belokan (derajat)

(3) Pengecilan Pipa (*Reducer*)

Tabel 1.6. Koefisien kerugian bagian pipa dengan pengecilan penampang

$(D_1/D_2)^2$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K	0,50	0,48	0,45	0,41	0,36	0,29	0,21	0,13	0,07	0,01	0

(4) Pembesaran Pipa (*Enlargment*)

Untuk pembesaran pipa dapat dipergunakan rumus Borda, dimana:

$$k = \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2 \quad (2.21)$$

Dimana d adalah diameter bagian pipa yang kecil dan D diameter yang besar.

(5) Katup (*Valve*)

Tabel 1.7. Koefisien kerugian dari berbagai katup

Jenis \ D (mm)	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
Gate valve	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0						
Butterfly valve	0,6 – 0,16 (bervariasi menurut konstruksi dan diameternya)											
Globe valve	0,09 – 0,026 (bervariasi menurut diameternya)											
Swing Check valve	1,2			1,15	1,1	1,0	0,98	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88
Foot valve + Strainer	1,97	1,91	1,84	1,78	1,72							

(6) Ujung Keluar Pipa (*Discharge End*)

Untuk keluaran pipa, koefisien gesekannya $k = 1,0$.

2.5. Faktor Gesek pada Pipa

Faktor gesekan (f) dalam pipa merupakan fungsi dari bilangan Reynold (Re) dan kekasaran relatif permukaan (e/D). Kekasaran relatif permukaan merupakan perbandingan antara kekasaran absolut dinding pipa bagian dalam dengan diameter pipa. Dengan mengetahui angka kekasaran absolut pipa, maka faktor gesekan dapat dilihat pada diagram

Moody, dengan cara menghubungkan (e/D) dengan bilangan Reynold. Bilangan Reynold di dapat dengan rumus :

$$Re = \left(\frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \right) \quad (2.22)$$

Dimana :

ρ = massa jenis zat cair (kg/m³)

V = kecepatan aliran (m/s)

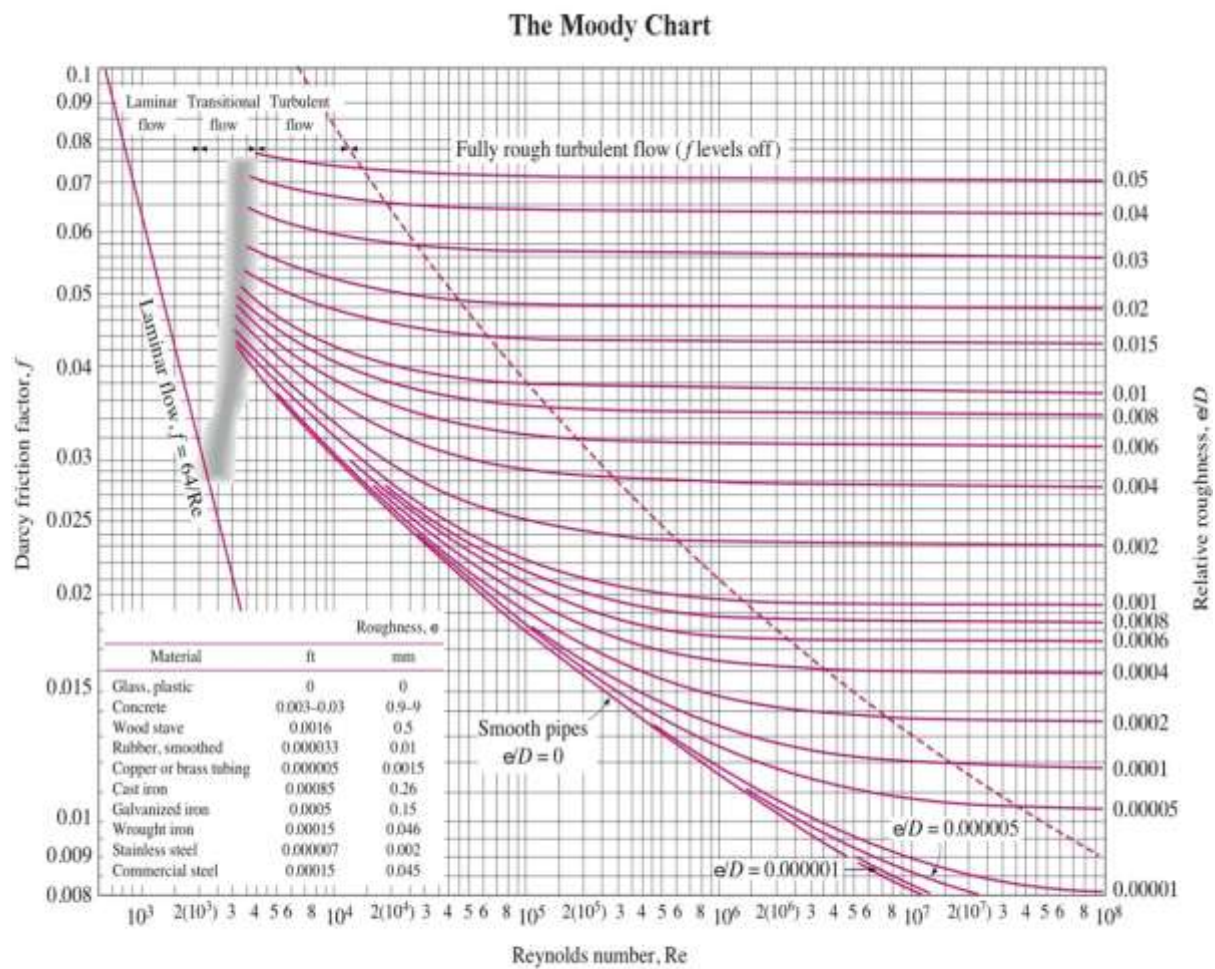
D = diameter pipa (m)

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

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar.

Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.

Pada $Re = 2300-4000$, terdapat daerah transisi.



Gambar 2.2. Diagram Moody

2.6. Net Positive Suction Head (NPSH)

NPSH adalah tinggi isap total dikurangi tekanan absolut, uap absolut (dalam tinggi kolom fluida yang dipompa).

2.6.1. NPSH Yang Tersedia (NPSH_A)

NPSH_A (dalam satuan meter kolom fluida) adalah head yang dimiliki oleh fluida pada sisi isap pompa dikurangi tekanan uap jenuh fluida di tempat tersebut.

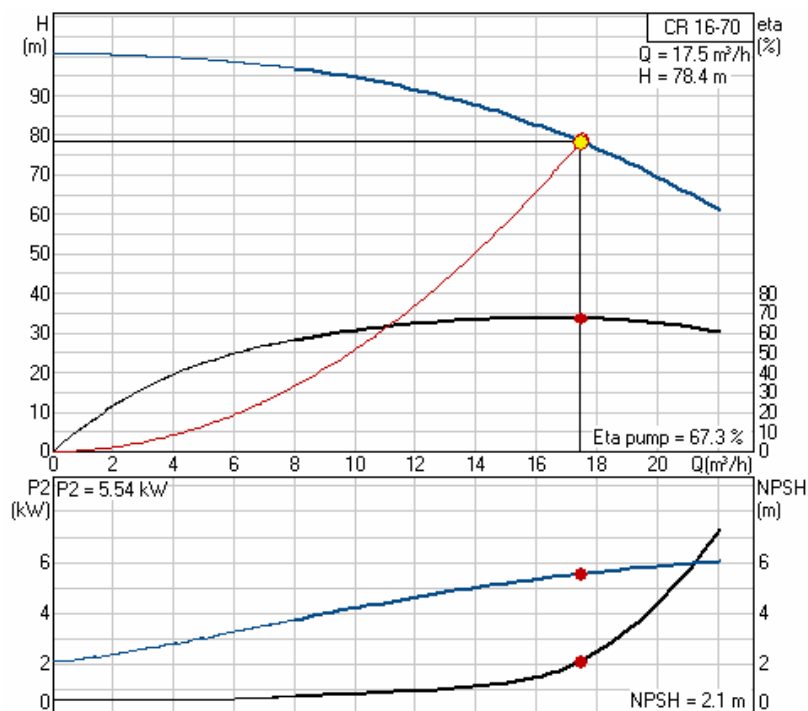
$$NPSH_A = \frac{p_s}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma_v} + z_s - h_{Ls} + \frac{v_s^2}{2g} \quad (2.23)$$

Dimana:

P_v = tekanan penguapan dari fluida/zat cair pada temperatur cairan di dalam impeler
(N/m²)

γ_v = berat jenis fluida/zat cair pada temperatur cairan di dalam impeler (N/m³)

2.6.2. NPSH Yang Diperlukan (NPSH_R)



Gambar 2.2 Grafik NPSH_R dari brosur pompa

$NPSH_R$ (dalam satuan meter kolom fluida) adalah head tekanan yang besarnya sama dengan penurunan tekanan di dalam pompa. Grafik $NPSH_R$ ini biasanya dapat diperoleh dari pabrik pembuat pompa, seperti pada Gambar 2.2. Sebagai pendekatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$NPSH_R = (0,3 \sim 0,5) \cdot \frac{n}{60} \cdot \sqrt{Q} \quad (2.24)$$

Dimana:

n = putaran pompa (rpm)

Q = Kapasitas pompa (m^3/det)

$NPSH$ tersebut diatas sangat penting untuk dihitung untuk mengecek kemungkinan terjadinya **kavitasi** pada instalasi pompa. Syarat agar tidak terjadi kavitasi adalah:

$$NPSH_A > NPSH_R \quad (2.25)$$

Jadi $NPSH$ yang tersedia harus lebih besar dari $NPSH$ yang dibutuhkan pompa.

2.7. Daya

2.7.1. Water Horse Power

Daya *output* pompa (Water Horse Power = *WHP*) adalah daya efektif yang merupakan fungsi dari kapasitas dan head pompa, yang dihitung berdasarkan persamaan:

$$P_p = \gamma \cdot Q \cdot H_p \quad (2.26a)$$

$$P_e = \gamma \cdot Q_{act} \cdot H_e = P_{sh} \cdot \eta_{op} \quad (2.26b)$$

$$WHP = \frac{P_e}{745} \quad (2.26c)$$

Dimana:

P_p = daya air pompa (Watt)

WHP = Daya air pompa / Water Horse Power (HP).

P_e = daya output/efektif pompa (Watt).

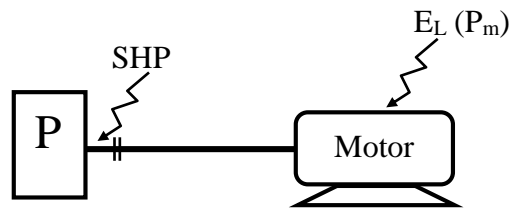
γ = berat jenis air (N/m^3)

Q = kapasitas pompa (m^3/det)

H_p = head total pompa (m)

η_{op} = efisiensi total pompa

2.7.2. Shaft Power



Gambar 2.3 Daya Pompa

Daya poros adalah daya yang masuk pada poros pompa yang diberikan oleh mesin penggerak mula (*prime-mover*), seperti terlihat pada gambar 2.3. Kurva daya penggerak pompa dapat digambarkan seperti pada gambar 2.4.

$$\text{SHP} = P_{sh} = H_p \times Q \times \gamma / \eta_{op}$$

$$P_{mot} = P_{em} / \eta_t \quad (2.27)$$

$$P_{lis} = P_m / \eta_{mot} \quad (2.28)$$

Dimana:

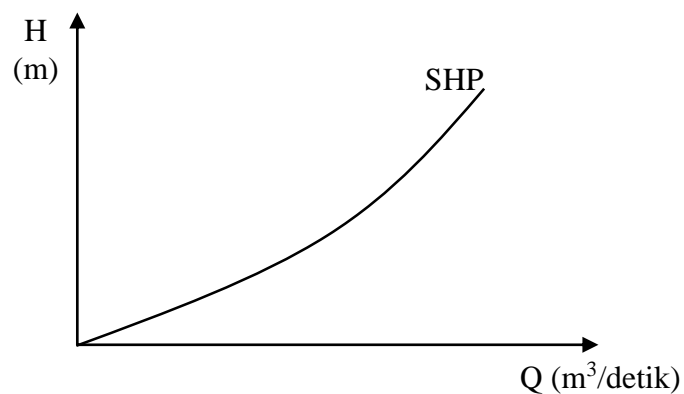
P_{mot} = daya motor / *prime-mover* (Watt)

P_{lis} = daya listrik untuk motor (Watt)

η_{op} = Effisiensi total pompa

η_t = Effisiensi transmisi

η_{mot} = Effisiensi motor



Gambar 2.4 Daya penggerak pompa

Besarnya catu daya Genset atau PLN (kVA) yang harus disediakan besarnya daya seluruh pompa ditambah daya cadangan untuk start pompa.

$$P_{G/PLN} \cong P_{lis} / (\cos \phi) + P_{start} \text{ [kVA]} \quad (2.29)$$

Arus nominal pompa (Amp) tergantung pada besarnya daya pompa dan tegangannya. Maka untuk motor listrik 3 phase:

$$I = P_{mot} / (1,73 \times 380 \times \cos \phi) \text{ [Ampere]} \quad (2.30)$$

Luas penampang kabel, (A_K dalam mm^2) ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir dan jenis konduktor kabel serta panjang kabel (L_k dalam meter). Jenis konduktor kabel (ϕ) power yang direncanakan adalah kabel tembaga untuk menghindari besarnya drop tegangan (ΔV dalam volt) yang terjadi.

$$A_K = 1,73 \times I \times L_k \cos \phi / (\phi \times \Delta V) \quad (2.31)$$

2.8. Efisiensi

2.8.1. Efisiensi Hidrolis

Adalah efisiensi yang disebabkan oleh adanya kerugian head akibat gesekan antar partikel fluida dan dengan dinding rumah pompa.

$$\eta_h = \frac{H_e}{H_i} = \frac{H_i - \Delta h_p}{H_e + \Delta h_p} = \frac{H_e}{H_{th}} \quad (2.32)$$

2.8.2. Efisiensi Volumetris

Adalah efisiensi yang disebabkan oleh adanya kebocoran (sejumlah Q_L) fluida dari dalam rumah pompa ke luar, misalnya lewat seal-seal pompa.

$$\eta_v = \frac{Q_{act}}{Q_i} = \frac{Q_{act}}{Q_{act} + Q_L} \quad (2.33)$$

2.8.3. Efisiensi Internal/Indikatif

Akibat kerugian head dan kapasitas yang terjadi pada pompa maka akan menyebabkan kerugian daya.

$$\eta_i = \frac{P_e}{P_i} = \eta_h \cdot \eta_v \quad (2.34)$$

2.8.4. Efisiensi Mekanis

Adalah efisiensi akibat kerugian gesekan antara bantalan dan poros pompa.

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_{sh}} = \frac{P_{sh} - P_{mf}}{P_{sh}} \quad (2.35)$$

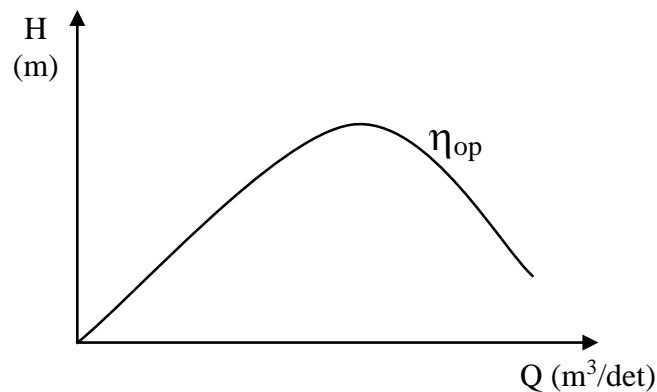
2.8.5. Efisiensi Total atau Stagnasi

Adalah perbandingan antara daya air dengan daya yang masuk ke poros pompa. Kurva efisiensi pompa dapat dilihat seperti pada gambar 3.5.

$$\eta_{op} = \frac{WHP}{SHP} = \frac{P_e}{P_{sh}} = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m \quad (2.36)$$

Maka daya poros dari mesin penggerak pompa yang dibutuhkan adalah:

$$P_{sh} = \frac{\gamma \cdot Q_{act} \cdot H_e}{\eta_{op}} \quad (2.37)$$



Gambar 2.5 Efisiensi pompa

2.9. Putaran

Pada umumnya, motor listrik digunakan sebagai penggerak (*prime mover*) dengan putaran motor tergantung pada jumlah kutub motornya dan frekuensi listrik (di Indonesia adalah 50 Hz). Tabel 2.1 menunjukkan berbagai kecepatan putar motor. Namun, kecepatan motor aktualnya akan lebih kecil 3% sampai dengan 5% dari kecepatan sinkron motornya akibat adanya *slip* yang terjadi.

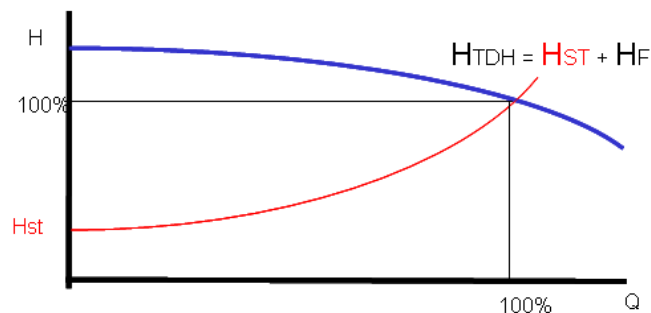
Tabel 2.1. Putaran (Rpm) motor listrik

Frekuensi \ Jumlah Kutub	2	4	6
50 Hz	3.000	1.500	1.000
60 Hz	3.600	1.800	1.200

Putaran motor (Rpm) dapat dihitung dengan:

$$n = \frac{120 \cdot f}{Kutub} \quad (4.38)$$

2.10. Kurva Head – Kapasitas Pompa



2.6. Titik kerja pompa

Titik perpotongan antara kurva H – Q dari pompa dan dari instalasi merupakan titik kerja pompa dan instalasi (sistem). Pada titik ini head yang diperlukan oleh sistem sama dengan head yang dapat diberikan oleh pompa pada laju alir yang sama.

$$H_p = \frac{P_d - P_s}{\gamma} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2 \cdot g} + z_d - z_s + H_L$$

Karakteristik instalasi (pipa saluran)

Adalah hubungan antara volume cairan yang mengalir melalui pipa saluran persatuan waktu dengan kerugian head yang dihasilkan.

$$H_{inst} = H_{statis} + H_{hydraulis/Dyn}$$

$$H_{Dyn} = H_L = H_{mayor} + H_{minor}$$

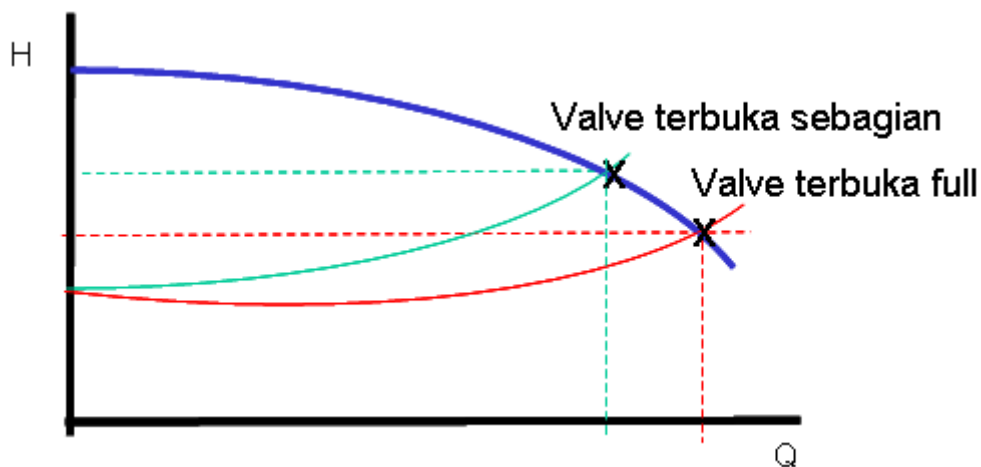
2.11. Pengaturan Operasi Pompa

Dalam praktek sering diperlukan merubah performance pompa dengan cara mengatur kapasitas dan head.

- Pengaturan secara kuantitatif ($n = \text{konstant}$)
- Pengaturan secara kualitatif ($n = \text{berubah}$)

2.11.1. Pengaturan Secara Kuantitatif

a. Mengatur Katup pada pipa Discharge ($H_L \gg$)

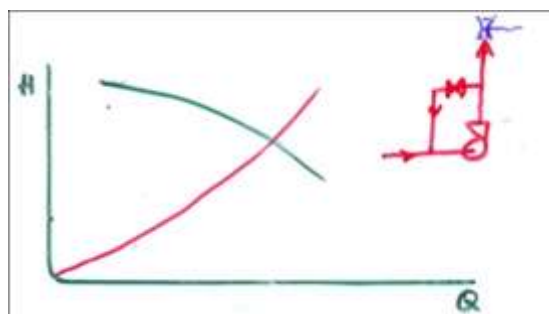


2.7. Kurva pengaruh pengaturan katup

b. Pengaturan Katup Pada Pipa Hisap

Hal ini dilakukan kalau kita tidak ingin mendapatkan tekanan yang bervariasi pada pipa discharge dan menghindari terjadinya kavitasi pada bagian masuk impeller.

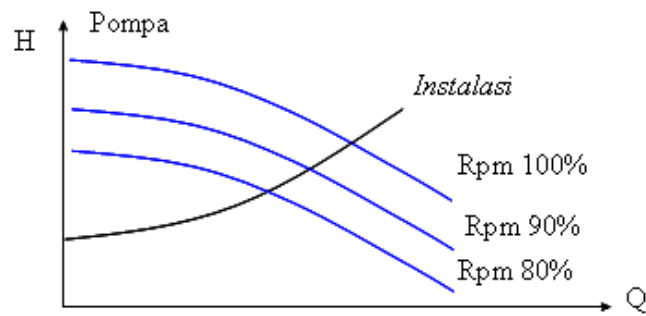
c. Membuat Aliran By-Pass dari Pipa Discharge ke Pipa Isap



2.8. Kurva pengaruh by-pass aliran pada pompa

2.11.2. Pengaturan Secara Kualitatif

Yaitu dengan mengatur pompa, misal dengan gear box, motor listrik dengan inverter



2.9. Kurva pengaruh putaran pompa

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 \cdot D_1^3}{n_2 \cdot D_2^3}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 \cdot D_1^2}{n_2^2 \cdot D_2^2}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1^3 \cdot D_1^5}{n_2^3 \cdot D_2^5}$$

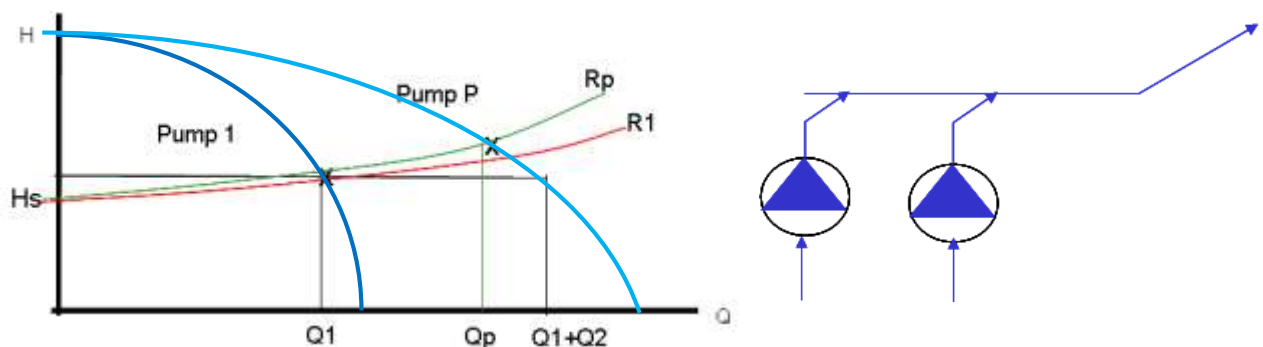
2.12. Operasi Pararel dan Operasi Seri

Jika head (H) atau kapasitas (Q) yang diperlukan dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara pararel atau seri.

▪ *Operasi Paralel*

Untuk mendapatkan head yang lebih besar (identik dengan multistage pump). Dua atau lebih unit pompa dipasang paralel. Untuk mendapatkan Kapasitas yang lebih besar.

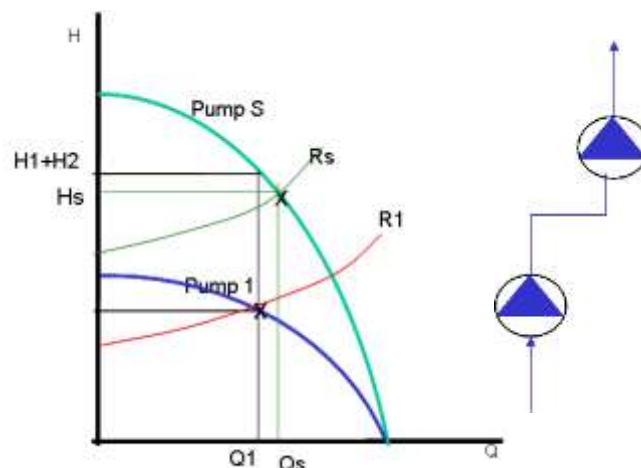
Namun: $Q_p < Q_1 + Q_2$, Tapi: $H_p > H_1$



2.10. Performansi dua pompa paralel

▪ *Operasi Seri*

Untuk mendapatkan Q yang lebih besar.



2.11. Performansi dua pompa seri

Dua atau lebih unit pompa dipasang Seri

Untuk mendapatkan Head yang lebih tinggi

Namun: $H_s < H_1 + H_2$

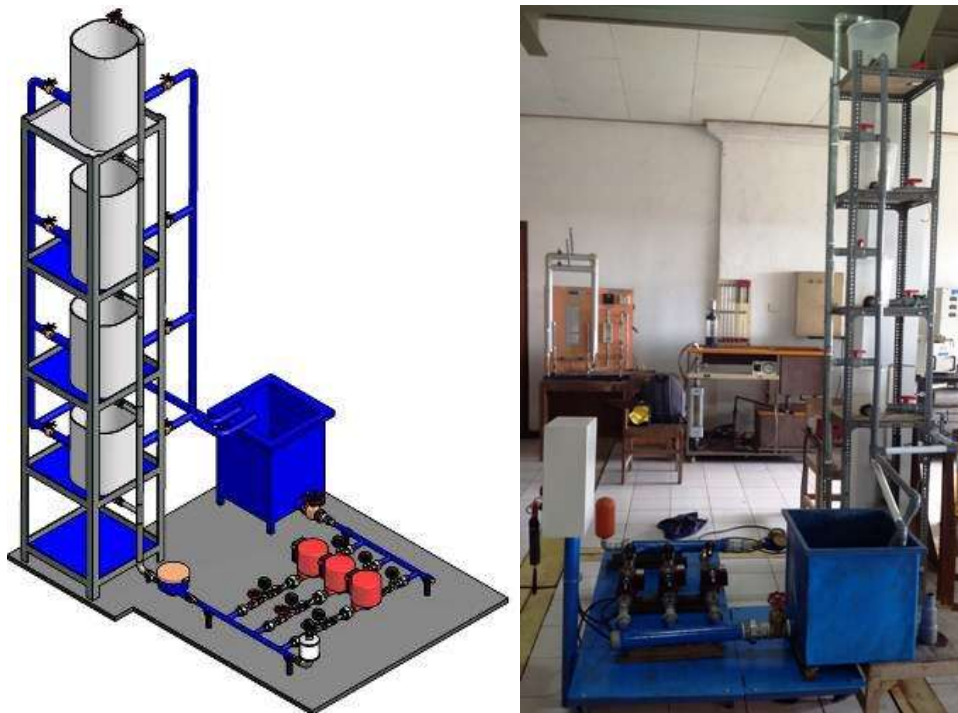
Tapi : $Q_s > Q_1$

BAB III PROSEDUR PELAKSANAAN

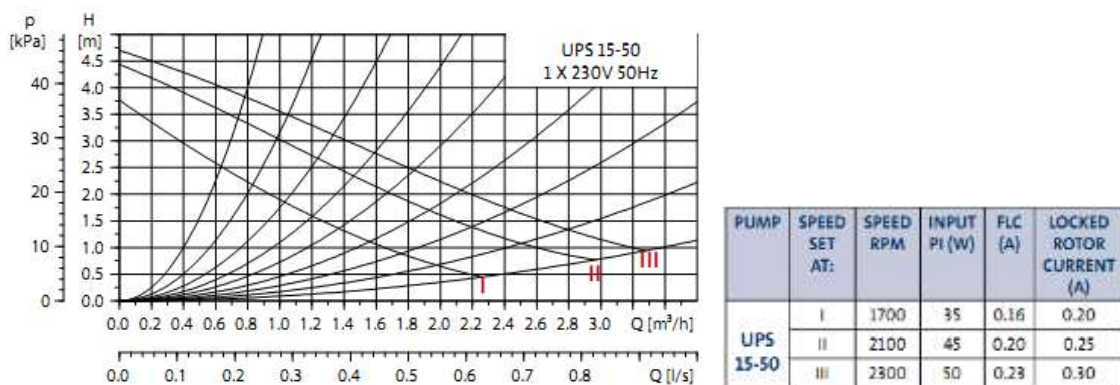
3.1. Prosedur Pengujian

3.1.1 Persiapan pengujian :

1. Persiapan perlengkapan (alat dan bahan) penelitian
2. Yakinkan air dalam bak dalam keadaan bersih



Gambar 3.1. Skema dan alat uji instalasi pompa



Gambar 3.2. Spesifikasi pompa uji

3.1.2 Pengambilan data melalui uji coba dengan langkah sebagai berikut :

- A. **Operasi pompa tunggal** (yang digunakan adalah pompa 1) dengan variasi putaran (n) dan head statis Z_d :
- Isi penuh bak instalasi dengan air bersih
 - Tutup katup k_2, k_3 dan k_5 ,serta buka k_1 dan k_4
 - Posisikan pompa pada Putaran-I.
 - Posisikan MCB pada Panel Kontrol Pompa pada posisi on.
 - Hidupkan pompa 1.
 - Seting head statis pemompaan pada Z_{d1} , dengan membuka katup pada aliran ke resevoir-1.
 - Setelah aliran air konstan/kerja pompa stabil, amati dan catat penunjukan tekanan pada manometer untuk saluran isap (P_{s1}) dan tekan (P_{s2}) pompa
 - Catat ketinggian air pada bak sumber air (z_s).
 - Perhatikan penunjukan pada *flow-meter* catat berapa lama waktu (t) yang dibutuhkan pompa untuk mengalirkan air sebanyak 10 liter.
 - Dengan menggunakan *Tang-Ampere* ukur berapa ampere arus (I) saat pompa bekerja dan berapa tegangan listriknya (V) lihat pada *Volt-Meter* pada Panel.



Gambar 3.3. Panel kontrol pompa

- k. Ulangi langkah "f sampai dengan j" untuk head statis : Z_{d2} , Z_{d3} , Z_{d4}
- l. Ulangi langkah "c sampai dengan k" untuk kecepatan pompa II, dan III

B. Operasi pompa paralel :

- a. Isi penuh bak instalasi dengan air bersih
- b. Posisikan pompa pada Putaran-I.
- c. Hubungkan pompa 1, 2 dan 3 secara paralel, dengan membuka katup k_1 , k_2 , k_4 , dan k_5 , sedangkan katup k_3 tertutup.
- d. Posisikan MCB Panel Kontrol Pompa pada posisi on.
- e. Hidupkan pompa 1, 2 dan 3 secara bersamaan.
- f. Seting head statis pemompaan pada Z_{d1} , dengan membuka katup pada aliran ke reservoir-1.
- g. Setelah aliran air konstan/kerja pompa stabil, amati dan catat penunjukan tekanan pada manometer untuk saluran isap (P_{s1} , P_{s2} , P_{s3}) dan tekan (P_{d1} , P_{d2} , P_{d3}).
- h. Catat ketinggian air pada bak sumber air (z_s)
- i. Perhatikan penunjukan pada *flow-meter* catat berapa lama waktu (t) yang dibutuhkan pompa untuk mengalirkan air sebanyak 10 liter.
- j. Dengan menggunakan *Tang-Amphere* ukur berapa ampere arus (I) saat pompa bekerja dan berapa tegangan listriknya (V) lihat pada *Volt-Meter* pada Panel.
- k. Ulangi langkah "f sampai dengan j" untuk head statis : Z_{d2} , Z_{d3} , Z_{d4}

C. Operasi pompa seri :

- a. Isi penuh bak instalasi dengan air bersih
- b. Posisikan pompa pada Putaran-1.
- c. Hubungkan pompa 1 dan 2 secara seri, dengan membuka katup k_1 , k_3 dan k_5 , sedangkan katup k_2 dan k_4 tertutup.
- d. Posisikan MCB Panel Kontrol Pompa pada posisi on.
- e. Hidupkan pompa 1 dan 2 secara bersamaan.
- f. Seting head statis pemompaan pada Z_{d1} , dengan membuka katup pada aliran ke resevoir-1.
- g. Setelah aliran air konstan/kerja pompa stabil, amati dan catat penunjukan tekanan pada manometer untuk saluran isap (P_{s1} , P_{s2}) dan tekan (P_{d1} , P_{d2}).
- h. Catat ketinggian air pada bak sumber air (z_s)
- i. Perhatikan penunjukan pada *flow-meter* catat berapa lama waktu (t) yang dibutuhkan pompa untuk mengalirkan air sebanyak 10 liter.
- j. Dengan menggunakan *Tang-Amphere* ukur berapa ampere arus (I) saat pompa bekerja dan berapa tegangan listriknya (V) lihat pada *Volt-Meter* pada Panel.
- k. Ulangi langkah "f sampai dengan j" untuk head statis : Z_{d2} , Z_{d3} , Z_{d4}

Catatan:

Setelah selesai praktikum, matikan semua pompa dan OFF-kan MCB pada Panel Kontrol Pompa, serta bersihkan seluruh peralatan yang telah dipergunakan, termasuk membuang air pada Bak-air.

Tabel 3.1. Data pengujian pompa tunggal

Head Statis	Parameter	Putaran Pompa		
		I	II	III
Z _{d1} = mm	t (detik)			
	P _{s1} (mm.Hg)			
	P _{d1} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d2} = mm	t (detik)			
	P _{s1} (mm.Hg)			
	P _{d1} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d3} = mm	t (detik)			
	P _{s1} (mm.Hg)			
	P _{d1} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d4} = mm	t (detik)			
	P _{s1} (mm.Hg)			
	P _{d1} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			

Tabel 3.2. Data pengujian pompa Paralel

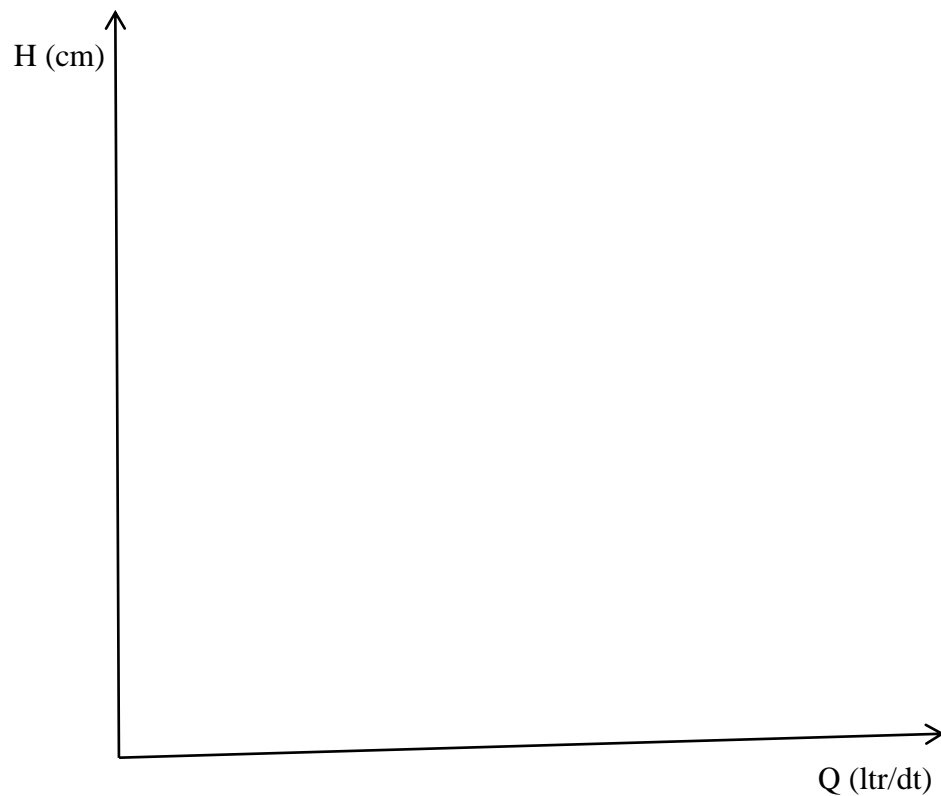
Head Statis	Parameter	Putaran Pompa		
		I		
Z _{d1} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} , P _{s3} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} , P _{d3} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d2} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} , P _{s3} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} , P _{d3} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d3} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} , P _{s3} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} , P _{d3} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d4} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} , P _{s3} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} , P _{d3} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			

Tabel 3.3. Data pengujian pompa Seri

Head Statis	Parameter	Putaran Pompa		
		I		
Z _{d1} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d2} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d3} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			
Z _{d4} = mm	t (detik)			
	P _{s1} , P _{s2} (mm.Hg)			
	P _{d1} , P _{d2} (mm.Hg)			
	Z _s (cm)			
	I (Amp)			
	V (Volt)			

3.2. Tugas

1. Hitung performansi pompa : Kapasitas, Head, Daya air (WHP), dan Efisiensi pompa pada masing-masing data hasil pengujian.
2. Buat kurve performansi pompa tunggal dengan variasi head statis pada putaran pompa I, dan jelaskan !
3. Buat kurve performansi pompa tunggal dengan variasi putaran pada berbagai head statis, dan jelaskan !
4. Buat kurve performansi pompa Paralel, jelaskan dan bandingkan dengan performansi pompa tunggal !
5. Buat kurve performansi pompa Seri, jelaskan dan bandingkan dengan performansi pompa tunggal !. Perhatikan perbedaan tekanan yang terjadi.



Petunjuk: Perhitungan head losses

Head Pompa:

$$H_p = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + H_L$$

Dimana:

$$z_1 = \text{head statis elevasi isap/suction pompa} = 5,5 \text{ m}$$

$$z_2 = \text{head statis elevasi buang/discharge pompa} = 130 \text{ m}$$

$$p_1 = \text{head statis tekanan isap/suction pompa} = 0,899 \text{ bar} = 0,899 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$$

$$p_2 = \text{head statis tekanan buang/discharge pompa} = 0,899 \text{ bar} = 0,899 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$$

$$v_1 = \text{head dinamis kecepatan fluida pada ujung isap/suction pompa} = 0 \text{ m/det}$$

$$v_2 = \text{head dinamis kecepatan fluida pada ujung buang/discharge pompa}$$

$$v_2 = v_T = Q_{tot}/A_{pT} = Q_{tot}/(1/4 \cdot \pi \cdot D_{pT}^2) = \dots\dots\dots \text{m/det}$$

dimana:

$$D_{pT} = \text{diameter pipa transmisi (m)}$$

$$H_L = \text{head losses total instalasi perpipaan sistem pompa (m)}$$

Maka harus dihitung terlebih dahulu head losses yang terjadi.

Head Losses pada pipa hisap/suction:

Kecepatan aliran pada pipa hisap:

$$v_s = Q_p/A_{ps} = Q_p/(1/4 \cdot \pi \cdot D_{pc}^2) = \dots\dots\dots \text{m/det}$$

$$Re = \frac{v_s \cdot D_{ps}}{\nu} = \dots\dots\dots$$

Pipa yang digunakan: *baja atau welded steel pipa* ?,

maka kekasaran permukaan pipanya (dari Tabel): misal $e = 0,045 \text{ mm}$.

Sehingga:

$$e/d = (0,045 \text{ mm}) / (0,25 \text{ mm}) = \dots\dots\dots$$

Dari diagram Moody, untuk $Re = \dots\dots\dots$ dan $e/d = \dots\dots\dots$,

maka didapatkan koefisien gesekan pipa:

$$f = \dots\dots\dots$$

Mayor Losses:

$$H_{L.ma.s} = f \frac{L_s}{D_s} \frac{V_s^2}{2g}$$

$$H_{L.ma.s} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Minor Losses:

$$H_{L.mi.s} = K \frac{V_s^2}{2g}$$

$$H_{L.mi.s} = (1 \times K_{FV} + 1 \times K_{B90} + 1 \times K_{FJ}) \times (v_s^2/2g)$$

$$H_{L.mi.s} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Maka head losses pada pipa hisap:

$$H_{L.s} = H_{L.ma.s} + H_{L.mi.s} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Head Losses pada pipa tekan/discharge:

Kecepatan aliran pada pipa tekan:

$$v_s = Q_p/A_{ps} = Q_p/(1/4 \cdot \pi \cdot D_{pc}) = \dots\dots\dots \text{ m/det}$$

$$Re = \frac{v_s \cdot D_{ps}}{\nu} = \dots\dots\dots$$

Pipa yang digunakan: baja atau welded steel pipa, maka kekasaran permukaan pipanya (dari Tabel): e = 0,045 mm.

Sehingga:

$$e/d = (0,045 \text{ mm}) / (0,25 \text{ mm}) = \dots\dots\dots$$

Dari diagram Moody, untuk Re = dan e/d =,

maka didapatkan koefisien gesekan pipa:

$$f = \dots\dots\dots$$

Mayor Losses:

$$H_{L.ma.s} = f \frac{L_s}{D_s} \frac{V_s^2}{2g}$$

$$H_{L.ma.s} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

Minor Losses:

$$H_{L.mi.s} = K \frac{V_s^2}{2g}$$

$$H_{L.mi.s} = (1xK_{FV} + 1xK_{B90} + 1xK_{FJ}) \times (v_s^2/2g)$$

$$H_{L.mi.s} = \dots\dots\dots m$$

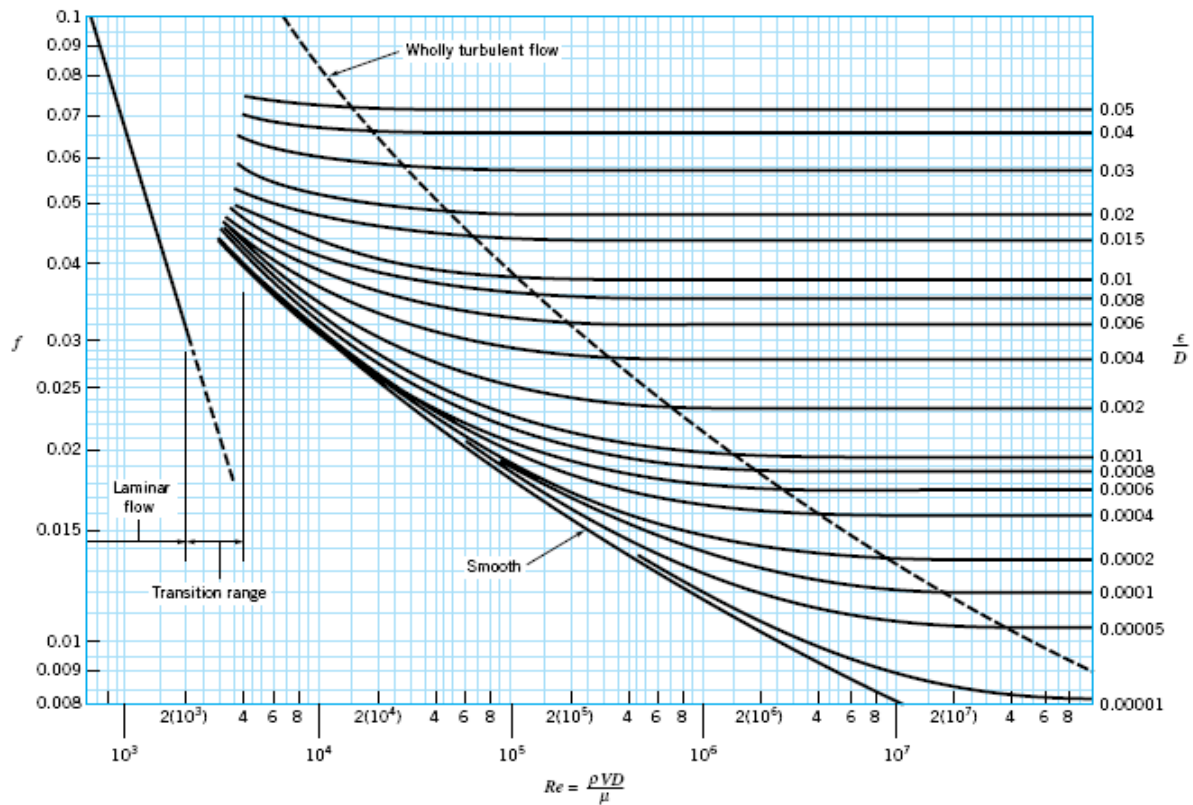
Maka head losses pada pipa hisap:

$$H_{L.s} = H_{L.ma.s} + H_{L.mi.s} = \dots\dots\dots m$$

DAFTAR PUSTAKA

1. Bachus L., Custodio A., 2003, *Know and Understanding Centrifugal Pumps*, Elsevier Ltd., UK.
2. Church A.H. (Alih Bahasa: Zulkifli), 1990, *Pompa dan Blower Sentrifugal*, Erlangga, Jakarta.
3. Dietzel F. (Alih Bahasa: Sriyono D.),1990, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
4. Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C.C, 2001. *Pump Handbook*, 3th edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
5. Khetagurov M., 1974, *Marine Auxiliry Machinery And Systems*, Peace Publisher, Moscow.
6. Lobanoff V.S., Ross R.R. 1992, *Centrifugal Pumps: Design and Application*, Jaico Publishing House, Bombay
7. Stepanoff A.J., 1962, *Centrifugal And Axial Flow Pump: Theory, Design, and Application*, 2nd ed., John-Wiley & Sons, Inc., New York.
8. Streeter V. L., Wylie E. B., 1975. *Fuid Mechanics*, 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York
9. Sularso, dan Tahara H., 2000, *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*, Edisi ke-7, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
10. Rajput R.K., 2002, *A Textbook of Fluid Mechanics and Hydraulics Machines*, S. Chand & Company Ltd, New Delhi

Lampiran: Diagram Moody



Material	Roughness, ϵ (mm)
Glass	smooth
Brass, new	0.002
Concrete Smoothed	0.04
Rough	2.0
Iron Cast, new	0.26
Galvanised, new	0.15
Wrought, new	0.046
Steel Commercial, new	0.046
Riveted	3