

Pemilihan Spesifikasi Komponen Alat Uji Prestasi Pompa Menggunakan Metode Analisis Persamaan Bernoulli

Ahmad Supendi¹, Muhamad Fitri²,

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: pendiahmad65@gmail.com

Abstrak--*Pompa Sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang mempunyai lingkup penggunaan yang sangat luas. Untuk menetapkan spesifikasi komponen alat uji prestasi pompa harus diperhitungkan dengan akurat. Hal ini terkait dengan alat uji prestasi pompa, head dan kapasitas yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan menentukan komponen alat uji prestasi pompa sesuai dengan kebutuhan. Metode yang akan digunakan dalam pemilihan spesifikasi komponen alat uji yaitu dengan menggunakan analisis persamaan Bernoulli dengan cara, (i) memilih spesifikasi pompa, (ii) menentukan alat ukur tekan, (iii) menghitung losses (iv) menentukan alat ukur debit aliran, (v) katup. Dalam penelitian ini dipilih spesifikasi komponen alat uji pada alat prestasi pompa adalah pompa 1 dan 2 ($P_1=P_2$) menggunakan merk pompa shimizu PS-128 BIT dan pompa 3 (P3) merk panasonic GA-200 JAK. Setelah itu dilakukan perhitungan dengan persamaan bernoulli untuk menentukan kapasitas alat ukur tekan. Penelitian pemilihan alat uji prestasi pompa, menggunakan PV (pressure vakum) 1, 2, dan 3 dengan kapasitas -76 cmHg. dan PG (pressure gauge) 1=4 bar (single), serta PG 2,3 dan 4 dengan kapasitas 6 bar disusun seri dan paralel. Water meter dan wadah volumetrik dengan kapasitas 5 liter. Pemilihan alat uji menggunakan katup dengan tipe ball valve.*

Kata kunci: Pompa sentrifugal, alat uji prestasi pompa, pressure gauge, pressure vacuum, water meter.

Abstract-- *Centrifugal pump is one type of pump that has a very wide scope of use. To determine the component specifications of the pump performance test equipment must be calculated accurately. This is related to the pump performance test equipment, head the results and capacity. This study aims to determine the components of the pump performance test equipment according to the needs. The method that will be used in selecting the specifications for the components of the test equipment is by using Bernoulli equation analysis by, (i) selecting the pump specifications, (ii) determining the pressure gauge, (iii) calculating losses (iv) determining the flow rate measuring device, (v) valve. In this study, the specifications of the components of the test equipment selected for the pump performance device were pumps 1 and 2 ($P_1=P_2$) using the Shimizu PS-128 BIT pump brand and the Panasonic GA-200 JAK pump 3 (P3). After that, the calculation is carried out using the Bernoulli equation to determine the capacity of the pressure gauge. Research on the selection of pump performance test equipment, using PV (vacuum pressure) 1, 2, and 3 with a capacity of -76 cmHg. and PG (pressure gauge) 1=4 bar (single), as well as PG 2,3 and 4 with a capacity of 6 bar arranged in series and parallel. Water meter and volumetric container with a capacity of 5 liters. Selection of test equipment using a valve with a ball valve type.*

Keywords: Centrifugal pump, pump performance test equipment, pressure gauge, pressure vacuum, water meter.

1. LATAR BELAKANG

Pompa memiliki berbagai macam kegunaan, dan dapat mendukung proses produksi mulai dari industri skala besar hingga tingkat rumah tangga. Penggunaan pompa sentrifugal dalam industri juga digunakan pada pembuatan gula [1]. Ada banyak sekali varian jenis pompa yang beredar di pasaran, dan penggunaan pompa juga disesuaikan dengan kebutuhan. Bahkan dapat dikatakan keberadaan pompa tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan industri. Dengan

penggunaan pompa yang meluas, pengujian diperlukan untuk menentukan kinerja pompa. Pompa sentrifugal adalah salah satu pompa yang paling banyak digunakan di keluarga. Pompa sentrifugal adalah pompa penghantar fluida yang prinsip kerjanya mengubah energi kinetik (kecepatan) suatu zat cair menjadi energi potensial (*dinamis*) melalui *impeller* yang berputar dalam suatu wadah. Umumnya, jika pompa memiliki daya dorong yang kuat dan hisap yang dalam, dianggap memiliki kualitas yang baik. Secara umum, daya dorong pompa

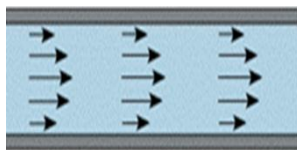
disebut *Head* pompa. Semakin tinggi *head*, semakin besar daya yang dihasilkan oleh pompa.

Alat uji prestasi pompa adalah alat digunakan untuk pengujian terhadap pompa sehingga dalam pemilihan spesifikasi komponen alat uji prestasi pompa harus dihitung dan direncanakan secara akurat sehingga alat uji prestasi pompa bekerja secara baik dan tepat, serta semua komponen dapat berfungsi dengan baik dan seakurat mungkin. Sebagai contoh, bila pemilihan alat ukur tidak dilakukan dengan tepat, maka bisa jadi komponen alat ukur yang digunakan tidak mampu membaca dengan baik hasil pengujian, baik karena skala yang terlalu besar ataupun terlalu kecil. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pemilihan komponen-komponen alat uji prestasi pompa dengan menggunakan persamaan *Bernoulli*. Dengan cara ini, kinerja alat pompa pada alat uji dapat ditentukan. Untuk memahami pompa dan sistem pemompaannya memerlukan pengujian dengan alat yang disebut *pump test kit*.

Dalam pipa, aliran fluida mempunyai karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa), aliran fluida sangat bergantung pada kecepatan aliran rata-rata, densitas, viskositas dan diameter. Aliran fluida (cair atau gas) di dalam tabung bisa bersifat laminar atau turbulen [2]. Untuk penjelasan mengenai aliran laminar dan aliran turbulen sebagai berikut:

A. Aliran Laminar

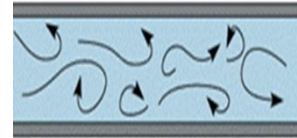
Aliran fluida ditunjukkan dengan gerakan paralel dari partikel fluida, dan garis alirannya halus. Aliran laminar stabil, yang berarti aliran tetap, menunjukkan bahwa laju aliran konstan di seluruh aliran air, atau laju aliran tidak berubah seiring waktu. Aliran laminar memiliki bilangan $Re < 2000$ Aliran laminar dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Aliran Laminar (Hidayah, 2019)

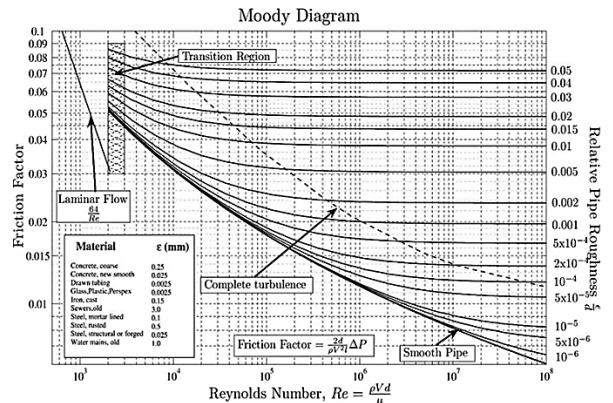
B. Aliran Turbulen

Gerakan partikel zat cair tidak teratur antara satu dengan lain dan sembarang dalam waktu dan ruang. Kecepatan aliran relatif besar akan menghasilkan aliran tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan lain turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viskos dan gerak lapis zat cair berdampingan pada kecepatan berbeda. Aliran turbulen memiliki bilangan $Re < 4000$. Aliran Turbulen dapat di lihat pada gambar 2.



Gambar 2. Aliran Turbulen (Hidayah, 2019)

Untuk mencari koefisien gesek pada pipa (f) dapat menggunakan diagram *moody* seperti pada gambar 3. Untuk menghitung kerugian dalam jalur pipa, kerugian tersebut akan terjadi apabila ukuran pipa bentuk penampang, atau aliran arah berubah [3].



Gambar 3. Diagram Moody (Muliawan & Yani, 2018)

C. Rugi-rugi aliran (losses)

Pada perangkat pompa, fluida mengalir dari *inlet* ke *outlet* dalam bentuk gesekan yang akan menimbulkan hambatan / rugi-rugi. Resistensi ini terjadi pada sambungan pipa, pipa lurus, dan perubahan penampang pipa, yang menurunkan efisiensi pompa akibat hilangnya laju aliran fluida. Hambatan yang dihasilkan sebanding dengan kecepatan rata-rata fluida. *Head loss* mengacu pada kehilangan energi saat memompa fluida ke dalam sistem perpipaan karena gesekan antara fluida dan permukaan pipa dan gangguan aliran fluida di fitting. *Head loss* dibagi menjadi dua bagian, yaitu *head loss major* dan *minor head loss*.

D. Head loss major

Kerugian yang disebabkan oleh gesekan antara fluida dan dinding pipa horizontal (dengan luas penampang konstan pada laju aliran yang diperluas sepenuhnya). *Head loss major* pada pipa lurus menggunakan tiga metode perhitungan yaitu, *Hazen William*, *Darcy Weisbach*, dan *De Chazy Manning* [4].

Persamaan *Hazen William* umum dipakai untuk menghitung kehilangan tekanan pada pipa besar yaitu di atas 100 (mm). Secara umum persamaan *Hazen William* ditunjukkan pada persamaan

$$Q = 0.2785 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot S^{0.54} \tag{1}$$

$$S = \frac{H_l}{L} \tag{2}$$

Dari persamaan diatas diturunkan menjadi persamaan berikut:

$$H_l = \left[\frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right]^{1,85} \cdot L \tag{3}$$

Dimana:

C = Koefisien Hazen-William

D = Diameter dalam pipa (m)

H_l = Head loss mayor (m)

S = Kemiringan pipa

L = Panjang pipa (m)

Untuk mencari nilai koefisien pada persamaan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Hazen William (Muhammad et al., 2019)

No	Material pipa	Angka
1	Asbes Cement	120
2	Poly Vinly Chloride	120 – 140
3	High Density Poly Ethylene Medium	130
4	Density Poly Ethylene	130
5	Ductile Cast Iron Pipe	110
6	Pipe Besi Tuang, Cast Iron	110
7	Galvanized Iron Pipe	110
8	Steel Pipe	110

E. Minor Head loss

Kerugian yang disebabkan oleh gangguan aliran fluida pada alat kelengkapan pada sistem perpipaan disebut dengan *minor head loss*. Jika peralatan perpipaan memiliki alat kelengkapan (siku dan pipa cabang) atau katup dan alat kelengkapan lainnya, koefisien kehilangan tekanan dari alat kelengkapan pipa (*minor head loss*) perlu ditambahkan ke perhitungan, dan jumlahnya disebut nilai k. Nilai k dipengaruhi oleh bentuk *fitting*, jenis *fitting*, dan bentuk *fitting* pipa tertentu yang mempengaruhi aliran fluida dalam pipa. Nilai k adalah koefisien yang ditentukan oleh seorang ahli. *Minor head loss* dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2g} = f \frac{l_e}{D} \frac{v^2}{2g} \tag{4}$$

Dimana:

h_{lm} = Minor head loss (m)

l_e = Panjang ekivalen pipa lurus (m)

K = Minor head loss coefficient

f = Koefisien gesek


D = Diameter pipa (m)

v = Kecepatan fluida (m/s)

g = Gravitasi (m/s²)

Perhitung besarnya *head minor loss* harus diketahui panjang pipa, koefisien gesek pada tabel 2 dan 3. yang disebabkan oleh komponen pipa seperti *valve*, *water meter*, *fitting* dll. Diameter pipa yang digunakan pada instalasi pipa, serta kecepatan yang dihasilkan oleh pompa tersebut.

Tabel 2. Loss Coefficient for Pipe Components (Muhammad et al., 2019)

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		
Gate, 1/2 closed	0.26		
Gate, 1/4 closed	2.1		
Gate, 3/4 closed	17		
Swing check, forward flow	2		
Swing check, backward flow	∞		
Ball valve, fully open	0.05		
Ball valve, 1/2 closed	5.5		
Ball valve, 3/4 closed	210		

Tabel 3. Minor loss coefficient (Muhammad et al., 2019)

No	Aksesoris	Minor loss coefficient (f)
1	Diaphragm Valve, Open	2.3
2	Diaphragm Valve, Half Open	4.3
3	Diaphragm Valve, 1/4 Open	21
4	Water meter	7

F. Komponen pada instalasi pipa

Komponen instalasi pompa merupakan peranan penting dalam instalasi pompa, adapun komponen yang harus ada dalam instalasi khususnya dalam sistem perpipaan dan alat uji tekan yaitu sebagai berikut:

A. Pipa PVC.

- B. Pressure gauge.
- C. Pressure vacuum.
- D. Valve.
- E. Water meter.

Untuk penjelasan singkat mengenai instalasi komponen pada pipa sebagai berikut:

G. Pipa PVC

Pipa PVC (polivinil klorida) adalah produk termoplastik yang pertama kali digunakan untuk pipa, dan pipa PVC merupakan jenis pipa yang paling banyak digunakan [5]. Menentukan pipa isap pada pipa PVC dapat menggunakan persamaan:

$$Q_p = A \cdot V_s \tag{5}$$

Dimana:

Q_p = Kapasitas pompa m^3/s

A = Luas penampang pipa ($\frac{\pi}{4} D^2$)

V_s = Kecepatan aliran rata rata pada penampang pipa $1 m/s$

H. Manometer (pressure gauge)

Alat pengukur tekanan (*pressure gauge*) adalah alat yang menggunakan kolom cairan untuk mengukur tekanan. Pengukur vakum yang digunakan untuk mengukur tekanan. Pada peralatan pengukuran vakum, terbagi menjadi dua sub kategori, yaitu vakum tinggi dan vakum rendah (vakum rendah kadang bahkan vakum ultra tinggi). Satuan dari alat ukur pada tekanan ini biasanya berupa psi (*pound per square inch*), psf (*pound per square foot*), mm/Hg (*millimeter of mercury*), in/Hg (*inch of mercury*), bar, atm (*atmosphere*), N/m^2 (*Pascal*). Dalam memilih *pressure gauge* yang baik perlu memperhatikan seperti: Material, Skala maksimum, Akurasi, dan *Dial size*. Pada gambar 4 menunjukkan alat ukur *pressure gauge*.



Gambar 4. Pressure Gauge

I. Vacuum Pressure

Vacuum gauge merupakan alat ukur pneumatic yang digunakan untuk mengetahui nilai kevakuman mesin [6]. Alat ini menunjukkan perbedaan antara tekanan atmosfer luar dan nilai kevakuman yang teruji pada saluran udara

masuk (*intake manifold*). Sama seperti memilih *pressure gauge*, Dalam memilih *pressure vacuum* yang baik perlu memperhatikan seperti: Material, Skala maksimum, Akurasi, dan *Dial size*. Pada gambar 5 menunjukkan alat ukur *pressure vacuum*.



Gambar 6. Pressure Vacuum

J. Valve

Valve atau yang biasa dikenal sebagai katup bisa menjadi perangkat yang mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran cairan (gas, cairan, padatan ter fluidisasi) dengan celah, menutup, atau menutup sekitar jalur aliran [7]. Kriteria dalam pemilihan *ball valve* meliputi berbagai aspek antara lain: Port, Kapasitas aliran, Kecepatan membuka dan menutup, Sealing, Tekanan, dan Biaya.

Untuk mengetahui besarnya *losses* pada *ball valve* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_v = f \frac{V^2}{2 \cdot g} \tag{6}$$

Dimana:

H_v = Head valve (m)

f = koefisien *valve* (*ball valve* bukaan penuh)

V^2 = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

K. Water Meter

Water meter adalah sebuah alat ukur untuk mengetahui jumlah fluida atau laju aliran yang bergerak mengalir dalam sebuah saluran terbuka maupun pipa tertutup. *Water meter* digunakan sebagai pengukur laju aliran volume atau debit air pada alat uji pompa tunggal, seri dan paralel.

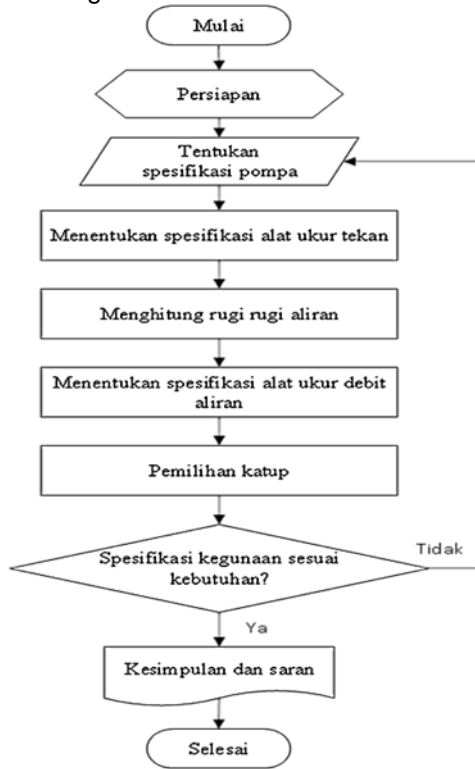
Parameter dalam memilih *water meter* ada dua hal yang perlu diperhatikan [8], yaitu:

1. Diketahui laju aliran nominal dan maksimum.
2. Viscosity dari fluida, Kebersihan/kekotoran dari fluid (lumpur, banyak kotoran atau bersih) yang mengalir ke *water meter*.
3. Sistem instalasi *water meter*: vertikal atau horizontal
4. Material yang digunakan.

5. Perlunya tidaknya *display* pada *water meter* (*local display* atau *remote display*)

2. METODE PENELITIAN

Secara garis besar penelitian ini digambarkan melalui diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram alir pemilihan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian analisa pemilihan komponen alat uji prestasi pompa, menggunakan 2 pompa yang memiliki spesifikasi yang sama dan spesifikasi pompa 3 yang berbeda. Dari hasil survei di lapangan, maka dipilih yaitu pompa 1 dan 2 (shimizu PS-128 BIT) dan pompa 3 (Panasonic GA 200 JAK).

A. Pompa Shimizu PS-128 BIT

Berdasarkan *nameplate* yang ada pada tabel 4 maka spesifikasi pompa 1 dan 2, sebagai berikut:

Model		PS-128 BIT	
U: 1 x 220 V~	50 Hz	H: 20-10 meter	Q: 10-18 l/min
8μ / 450 V~	I: 1.3 A	Hs. Max: 9meter	H. maks: 29.5m
n: 2900 min ⁻¹	IPX4	Temp. air: Max. 40°C	Pipa hisap & pipa dorong: 1"

Tabel 4. Spesifikasi Pompa Shimizu PS-128 BIT

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa kuat arus listrik adalah 1,3 A. Putaran mesin 2900 rpm. Pada head 10meter debit air yang dihasilkan 18 liter/menit, dan pada saat head 20meter debit air yang dihasilkan 10 liter/menit. Head suction 9 m, untuk head maksimal 29,5 m. Untuk diameter pipa hisap dan pipa dorong adalah sebesar 1 inci. Motor pompa diharapkan lebih awet karena dilindungi oleh *Thermal protector* yang akan mematikan arus listrik ketika motor *overheat*.

B. Pompa Panasonic GA-200JAK

Berdasarkan *nameplate* yang ada pada tabel 5 menggambarkan spesifikasi pompa Panasonic GA-200 JAK digunakan untuk pompa 3.

Tabel 5. Spesifikasi Pompa Panasonic GA-200 JAK

MODEL	GA-200 JAK
Motor	Induksi/ 1 fasa
Sumber tegangan	220 V ~ 50 Hz
Daya keluaran	200 Watt
Jumlah kutub	2
Daya hisap	9meter
Daya dorong maksimum	18meter
Tinggi total maksimum	27meter
Kapasitas air minimum (Hs. 8m + Hd. 4m)	29 liter/menit
Pipa hisap/dorong	1 inci
Ukuran	257 x 238 x 245 mm
Berat bersih/kotor	7,8 kg/8,2 kg
Siklus beban kerja motor (Duty Rating)	S1 (Continuous Running Duty)

Dari tabel 5 dapat dilihat tegangan listrik adalah 220 V. daya keluaran pompa 200 Watt. *Head suction* (daya hisap) maksimum 9 meter, dan *head discharge* (daya dorong) 18 meter, sehingga head total maksimum adalah 27 meter. Pipa hisap/dorong menggunakan diameter 1 inci.

Dalam pemilihan pompa air, harus memperhitungkan debit air yang dibutuhkan, perencanaan sistem pemipaan, kerugian yang terjadi pada setiap komponen, sehingga bisa mengetahui head total yang dibutuhkan.

4.1. Menentukan Alat Ukur Tekan

Untuk menentukan spesifikasi alat ukur tekan, yaitu *pressure vacuum* dan *pressure gauge* yang dibutuhkan pada instalasi alat uji prestasi pompa, maka harus ditentukan besarnya tekanan maksimum yang akan dialami oleh pompa tersebut baik pada sisi masuk (*vacuum*) maupun sisi keluar (*Gauge*). Perhitungan didasarkan pada persamaan bernoulli, dapat dituliskan menggunakan persamaan, sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (7)$$

Persamaan di atas diturunkan menjadi persamaan, seperti berikut:

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad (8)$$

H_p disini adalah head Total.

$$H_p = H_s + H_d \quad (9)$$

Untuk menentukan spesifikasi alat ukur tekanan pada sisi *suction* dan pada sisi *discharge*, maka perhitungannya harus dipisah, P1 untuk menghitung spesifikasi alat ukur tekanan *vacuum* di sisi masuk (tentunya setelah dikurangi head statis dan head *losses* nya), tekanan di P2 untuk menghitung spesifikasi alat ukur *pressure gauge* sisi keluar. Dengan asumsi bahwa tekanan pada pompa adalah sama dengan tekanan atmosfer lokal.

Pemilihan pompa adalah berdasarkan spesifikasi head dan debit, dimana antara head dan debit harus bersilangan, artinya pompa yang head lebih tinggi, maka debit harus lebih rendah dan sebaliknya ketika debitnya tinggi, maka headnya rendah. Oleh sebab itu dipilih pompa merk shimizu 2 buah dengan spesifikasi head maks 29,5 m dan debit maks 18 liter/menit dan pompa panasonic dengan spesifikasi head maks 27 m dan debit maks 29 liter/menit. Sehingga terlihat jauh, perbandingan antara debit maks pada pompa 1,2 dan 3. Pompa shimizu ini disiapkan untuk pengujian 2 pompa identik dipasang seri dan paralel. kemudian pompa 3 sediakan untuk pengujian 2 pompa tidak identik dipasang seri dan paralel.

4.2. Menghitung Rugi-Rugi Aliran (*Pressure Vacuum*)

A. Menghitung kapasitas *pressure vacuum* pada P1 (*single*)

Sehingga untuk menghitung besarnya kapasitas *pressure vacuum* menggunakan persamaan

sebagai berikut:

$$(H_s - H_a - H_{st} - H_{loss}) \cdot \rho \cdot g = -PV_1 \quad (10)$$

Diketahui:

$Q_{max} = 18 \text{ L/menit} = 0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$ (spesifikasi P1 dan P2)

$H_s = 9 \text{ m}$ (*head suction* pada pompa 1 dan 2)

$L = 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m}$ (panjang pipa dari permukaan air ke sumbu poros pompa)

$D = 1 \text{ inci} = 0,0254 \text{ m}$ (diameter pipa)

$f = 0,025$ (dilihat pada gambar 3 diagram moody)

Sebelum menghitung *losses* pada sisi masuk pompa, maka terlebih dahulu menghitung Luas penampang, dan mengetahui kecepatan aliran pada pipa. Sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{3,14}{4} (0,0254 \text{ m})^2$$

$$A = 0,00051 \text{ m}^2$$

Maka kecepatan aliran pada P1 adalah

$$V = \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00051 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,59 \text{ m/s}$$

Menghitung *major losses* panjang pipa PVC sebagai berikut:

$$H_l = \left[\frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2785 \cdot 120 \cdot (0,0254 \text{ m})^{2,63}} \right]^{1,85} \cdot 0,9 \text{ m}$$

$$H_l = 1,7 \text{ m}$$

Kerugian pada satu belokan *elbow* 90°, nilai $f = 0,3$, sehingga:

$$H_b = 0,3 \frac{0,59^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}}$$

$$H_b = 0,0053 \text{ m (1 belokan)}$$

Kerugian pada *ball valve* bukaan penuh, nilai $f = 0,05$, sehingga:

$$H_v = 0,05 \frac{0,59^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}}$$

$$H_v = 0,00089 \text{ m}$$

Menghitung kerugian pada Tee (*branch flow, threaded*) nilai $f = 2$, sehingga:

$$H_T = 2 \frac{0,59^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}}$$

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

Menghitung kerugian pada katup hisap dengan saringan, nilai $f = 1,97$ sehingga:

$$H_f = 1,97 \frac{0,59^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}}$$

$$H_f = 0,35 \text{ m}$$

Menghitung *head* kecepatan keluar adalah sebagai berikut:

$$V_d = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D)^2} = \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4}(0,0254 \text{ m})^2} = 0,61 \text{ m/s}$$

$$\frac{Vd^2}{2 \cdot g} = \frac{0,61^2 m/s}{2 \cdot 9,8 m/s} = 0,019 m$$

Sehingga besarnya head loss total pada sisi masuk pompa adalah sebagai berikut:

$$H_{ltotal} = H_l + H_b + H_V + H_T + H_f + \frac{Vd^2}{2 \cdot g}$$

$$= 0,024 m + 0,0053 m + 0,00089 m + 0,036 m + 0,35 m + 0,019 m$$

$$H_{ltotal} = 0,44 m$$

Sehingga dapat dihitung besar nilai PV_1 , sebagai berikut:

$$PV_1 = H_s \cdot \rho \cdot g$$

$$= (9m - 0,44m) \cdot 1000K_g/m^3 \cdot 9,8m/s^2$$

$$PV_1 = -83.888 P_a = -62,92 cmHg$$

Pada saat pengujian beberapa pompa dipasang seri, *pressure vacuum* tidak boleh digunakan sebagai pembaca tekanan pada pompa 2 dan seterusnya, Untuk perbaikan alat kedepan, sebaiknya tekanan sisi masuk pompa untuk pompa 2 dan 3 yang dipasang seri menggunakan *pressure absolute*. Supaya tetap bisa digunakan pembaca tekanan.

B. Menghitung rugi-rugi aliran pada *pressure gauge* untuk sisi keluar pompa

Menghitung kapasitas *pressure gauge* yaitu menghitung besarnya tekanan keluar (*discharge*) secara maksimal pada setiap sisi keluar pompa. Dalam penelitian ini untuk menentukan sisi keluar ada beberapa cara yaitu tekanan keluar secara single pada pompa 1, 2, dan 3, tekanan keluar pada pompa 1 dan 2 ketika disusun seri, dan tekanan keluar pada pompa.

- Menghitung Alat ukur tekanan sisi keluar pompa 1 (single) besarnya kapasitas sama, sehingga untuk menentukan kapasitasnya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Hd \cdot \rho \cdot g = PG_1 \tag{11}$$

Diketahui:

$$Hd = 20 m \text{ (pada tabel 4)}$$

Sehingga dapat dihitung besarnya kapasitas yang digunakan pada pompa 1 (single), menggunakan persamaan (11).

$$PG_1 = Hd \cdot \rho \cdot g$$

$$= 20 m \cdot 1000K_g/m^3 \cdot 9,8m/s^2$$

$$PG_1 = 196.000 P_a = 1,96 Bar$$

$$PG_1 = PG_2$$

- Menghitung alat ukur tekan sisi keluar pompa 1 dan pompa 2 disusun secara seri. Maka dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(H_{d1} + H_{s1} + H_{d2} - H_l) \rho \cdot g = PG_2$$

Diketahui:

$$H_{d1} = H_{d2} = 20 m$$

$$H_{s1} = 9 m$$

$L = 4,86 m$ (panjang keseluruhan pipa pada pompa 1 dan 2 rangkain seri)

$Q_{max} = 18 L/menit = 0,0003 m^3/s$ (spesifikasi pompa 1 dan 2)

$$V_{1,2} = 0,59 m/s$$

$$Vd_{1,2} = 0,019 m$$

Menghitung *head loss mayor* menggunakan metode persamaan *Hazen William* sebagai berikut:

$$H_l = \left[\frac{0,0003^2 m^3/s}{0,2785 \cdot 120 \cdot (0,0254 m)^{2,63}} \right]^{1,85} \cdot 4,86 m$$

$$H_l = 0,25m$$

Menghitung head kecepatan keluar sebagai berikut:

$$\frac{(Vd_1 + Vd_2)^2}{2 \cdot g} = \frac{(0,019 + 0,019)^2 m/s}{2 \cdot 9,8 m/s}$$

$$= 0,00007 m$$

Tabel 6. *Minor head loss* pada pompa 1 dan 2 disusun secara seri terbuka penuh

Komponen	(n)	Rumus	(f)	Minor head loss (m)
Foot valve	1	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1,9 7	0,14 m
Ball valve	9	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0,05	0,032 m
Elbow 90	6	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0,3	0,13 m
Tee	5	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1	0,35 m
Tee (berulir)	2	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	2	0,28 m
Water meter	3	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	7	1,5 m

Maka *head loss total* adalah

$$H_{ltotal} = 2,68 m$$

$$PG_2 = (H_{d1} + H_{s2} + H_{d2} - H_l) \cdot \rho \cdot g$$

$$= (20m + 9m + 20m - 2,68m) \cdot 1000K_g/m^3 \cdot 9,8m/s^2$$

$$PG_2 = 453.936P_a$$

$$PG_2 = 4,5Bar \text{ (Pompa 1 dan pompa 2 seri)}$$

- menentukan tekanan sisi keluar pada pompa 3, pompa 2 dan 3 disusun secara seri. Sehingga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$(H_{d2} + H_{s2} + H_{d3} - H_l) \rho \cdot g = PG_3$$

Diketahui:

$$H_{d2} = 20m$$

$$H_{s2} = 9m$$

$$H_{d3} = 18m$$

$L = 6,12m$ (panjang pipa yang dilalui laju aliran secara seri)

$$Q_{max1,2} = 18L/menit = 0,0003m^3/s$$

(spesifikasi pompa 1 dan 2)

$$V_{1,2} = 0,59m/s$$

$$Q_{max3} = 29 \text{ liter/menit} = 0,00048m^3/detik \text{ (spesifikasi pompa 3)}$$

$$V_3 = 0,94m/s$$

Menghitung *head loss mayor* menggunakan metode persamaan *Hazen William* sebagai berikut:

$$H_l = \left[\frac{(0,0003 + 0,00048)m^3/s}{0,2785 \cdot 120 \cdot (0,0254m)^{2,63}} \right]^{1,85} \cdot 6,12m$$

$$H_l = 0,097m$$

Menghitung *head kecepatan keluar* adalah sebagai berikut:

$$\frac{(V_{d2} + V_{d3})^2}{2 \cdot g} = \frac{(0,019 + 0,05)^2 m/s}{2 \cdot 9,8m/s} = 0,00024m$$

Tabel 7. *Minor head loss* pada pompa 2 dan 3 dipasang secara seri terbuka penuh.

Komponen	(n)	Rumus	(f)	Minor head loss (m)
Foot valve	1	$f \frac{(V_2 + V_3)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1,97	0,24 m
Ball valve	4	$f \frac{(V_2 + V_3)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0,05	0,024 m
Elbow 90	7	$f \frac{(V_2 + V_3)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0,3	0,25 m
Tee	9	$f \frac{(V_2 + V_3)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1	1,07 m

Tee (berulir)	2	$f \frac{(V_2 + V_3)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	2	0,48 m
---------------	---	---	---	--------

Water meter	3	$f \frac{(V_1 + V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	7	2,51 m
-------------	---	---	---	--------

Maka *head total loss* pada pompa 2 dan 3 disusun secara seri adalah

$$H_{ltotal} = 4,67m$$

$$(H_{d2} + H_{s2} + H_{d3} - H_l) \rho \cdot g = P_3$$

$$= (20m + 9m + 18m - 4,67m) \cdot 1000K_g/m^3 \cdot 9,8m/s^2$$

$$PG_3 = 414.834P_a$$

$$PG_3 = 4,15Bar$$

Kesimpulan dari perhitungan diatas maka kapasitas *pressure vacuum* dan *pressure gauge* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Rangkuman perhitungan pada komponen alat uji prestasi pompa satuan bar.

Nama alat	Hasil perhitungan			
	PV1	PV2	PV3	PV4
Pressure Vacuum	-	-	-64,1	-
	62,9	62,8	5	2
Pressure Gauge	PG1	PG2	PG3	PG4
	1,96	1,96	1,8	-
	-	-	4,5	4,15

Keterangan:

PV1, PV2, PV3: Rangkaian Tunggal (Single)

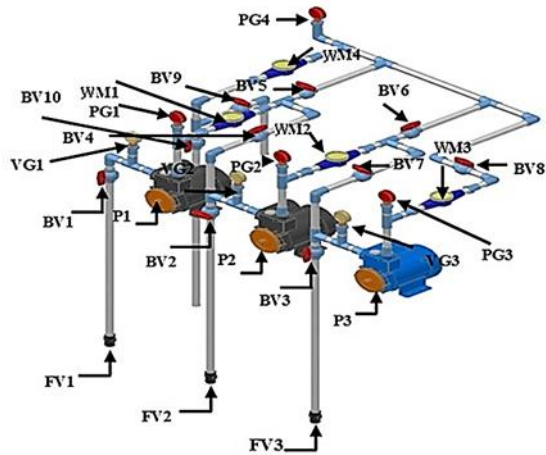
PG1, PG2, PG3: Rangkaian Tunggal (Single)

PG4: Rangkaian Seri.

Dari rangkuman perhitungan pada tabel 8, maka kapasitas yang akan digunakan pada PV1, PV2, dan PV 3 adalah -76 cmhg. Untuk PG1 menggunakan kapasitas 4bar. Pada PG2, PG3, dan PG4 menggunakan Kapasitas 6bar. Pada gambar menunjukkan rangkaian secara menyeluruh dalam instalasi pipa yang digunakan dalam penelitian ini.

Sehingga alat ukur tekan yaitu *pressure gauge* menggunakan kapasitas 4 bar untuk pompa 1, kapasitas 6 bar untuk di pasang di pompa 2 dan 3. Untuk *pressure gauge* yang ke-4 di pasang dengan kapasitas 6 bar. Sedangkan untuk *vacuum pressure* menggunakan kapasitas = -76 cmHg yang telah dihitung dengan persamaan bernoulli.

Gambar 7. Instalasi komponen alat uji prestasi pompa.



Keterangan:

1. FV: Foot Valve = 3 buah
2. BV: Ball Valve = 10 buah
3. P: Pompa = 3 pompa (Pompa 1 dan 2 spesifikasi sama)
4. VG: Vacuum Gauge = 3 buah
5. PG: Pressure Gauge = 4 buah
6. WM: Water Meter = 4 buah

4.3. Menentukan debit aliran

Dalam menghitung debit aliran yang harus dilakukan adalah memilih alat ukur debit aliran, yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan water meter dan wadah volumetrik. Untuk penjelasan mengenai pemilihan water meter dan wadah volumetrik akan dijelaskan sebagai berikut:

A. Water meter

Pemilihan *water meter* pada penelitian ini menggunakan *water meter* yang dapat membaca laju aliran pada instalasi pipa. Dalam penelitian ini dipilih *water meter* dengan berbahan plastik anti karat, dengan kapasitas $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/h$, terlihat pada gambar 8, artinya air diukur pada laju aliran nominalnya disebut Q_n dan diberikan dalam meter kubik per jam (satu meter kubik adalah 1.000 liter air) [9].



Gambar 8. Water meter

Laju aliran maksimum *water meter* adalah dua kali Q_n . Nilai $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/h$ setara dengan 25 liter/menit dan $Q_{max} = 2 \times Q_n$, sehingga *water meter* hanya bisa mengukur laju aliran air maksimal 50 liter/menit. Saat pompa 1, 2, dan 3 disusun secara seri dan paralel, maka perhitungan dilakukan secara volumetrik. Untuk alat ukur debit aliran yaitu menggunakan *water meter* dengan kapasitas $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/h$, dan $Q_n = 1,6 \text{ m}^3/h$.

B. Menghitung alat ukur debit aliran secara volumetrik.

Alat ukur debit aliran secara volumetrik adalah untuk menentukan kecepatan laju aliran fluida yang mengalir melalui pipa. Alat ukur debit aliran yang harus ditentukan lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume air yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini menggunakan pipa PVC dengan ukuran 1 inci atau setara dengan diameter 0,0254 m. Kapasitas wadah volumetrik pada gambar 9 yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 liter.



Gambar 9. Wadah volumetrik

Alat ukur debit aliran secara volumetrik menggunakan kapasitas 5 liter dihitung menggunakan stopwatch. Perhitungan dilihat pada besarnya debit yang dihasilkan pada setiap pompa, agar dapat dihitung kecepatan aliran pada instalasi pipa.

Bila alat uji ini digunakan untuk pengujian 3 pompa dipasang paralel, maka debit aliran harus diukur secara volumetrik. Hal ini disebabkan karena kapasitas *water meter* hanya bisa membaca $1,5 \text{ m}^3/h$ atau setara dengan 25l/m.

C. Memilih Katup

Pertimbangan dalam kriteria pemilihan katup maka dipilih *ball valve*. Saat pengujian alat, katup harus bisa diatur dengan bukaan penuh sampai tertutup penuh yaitu dari bukaan membentuk sudut $90^\circ, 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ, 15^\circ$ sampai tertutup penuh. Maka dalam hal ini pemilihan katup menggunakan *ball valve*, karena hanya *ball valve* yang bisa digunakan untuk

pengambilan data dengan bukaan penuh sampai tertutup penuh. Pada gambar 10 menunjukkan katup dengan jenis *ball valve*.



Gambar 10. *Ball Valve*

Pemilihan katup dipilih dengan mempertimbangkan kebutuhan untuk penelitian. Dipilih *ball valve* untuk menguji dengan bukaan penuh dari 90° sampai tertutup penuh.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dalam pemilihan spesifikasi komponen alat uji prestasi pompa menggunakan metode analisis persamaan bernoulli, maka pompa yang digunakan pompa Shimizu dan pompa Panasonic. Alat ukur tekan menggunakan PV kapasitas -76 cmHg. PG menggunakan kapasitas 4-6 bar. Alat ukur debit aliran menggunakan water meter dengan kapasitas $Q_n:1,5m^3/h$, dan $Q_n:1,6m^3/h$. Pemilihan alat uji prestasi pompa untuk instalasi pada pompa menggunakan katup dengan jenis *ball valve*. Untuk pemilihan alat uji prestasi pompa harus dihitung dengan seakurat mungkin, agar alat uji tersebut bekerja secara akurat. Jika terjadi kerusakan pada alat uji tersebut sebaiknya dihitung kembali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Romahadi, D., Anggara, F., Sudarma, A. F., & Xiong, H. (2020). *the Implementation of Artificial Neural Networks in Designing Intelligent Diagnosis Systems for Centrifugal Machines Using Vibration Signal*. Sinergi, 25(1), 87.
- [2]. Hidayah, S. nur. (2019). *KARAKTERISTIK UNJUK KERJA PUMP AS TURBINE (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK MENGGUNAKAN SATU POMPA HISAP UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/n4f68>
- [3]. Muliawan, A., & Yani, A. (2018). Analisa Head Mayor Dan Minor Pompa Chiller Dengan Bukaan Katup Instalasi Pompa Tunggal. JST (Jurnal Sains Terapan), 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.32487/jst.v4i1.454>
- [4]. Muhammad, Z. H., Anggara, F., Teknik, F., Mercu, U., Jakarta, B., Teknik, F., & Buana, U. M. (2019). *ANALISA HEAD POMPA WATER INTAKE TERHADAP SELF CLEANING FILTER PADA PT. XY*. 08(2).
- [5]. Larasakti, A. A., Himran, S., & Syamsul, A. (2012). Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Banki Daya 200 Watt. Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Banki Daya 200 Watt, 3(1), 245–253.
- [6]. Shah, N. (2017). Pembuatan Pressure Monitoring Untuk Menentukan Indicated Horse Power (Ihp) Pada Mesin Diesel. Jurnal Inovtek Polbeng, 07(2), 215–224.
- [7]. Nurdiansyah, D., & Aziz, A. (2019). *PENGUJIAN POMPA SENTRIFUGAL EKSISTING Engineering Design Modificaton of the Existing Laboratorium for Centrifugal Pump Testing*. 17–25.
- [8]. Sumantri, F. (2017). Perancangan Alat Uji Vortex Bebas Dan Vortex Paksa. Zona Mesin ISSN 2087-698X, 8(2), 1–9. <http://ejurnal.univbatam.ac.id/index.php/Mesin/article/view/141>
- [9]. Goldland. (2020). *How to select and install water meter*. http://www.watermeter.hk/service/install_water_meter.html