

ANALISA HEAD POMPA WATER INTAKE TERHADAP SELF CLEANING FILTER PADA PT.XY

Zaid Hafiz Muhammad¹, Fajar Anggara²

¹Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

²Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta

E-mail: zaid.hafiz04@gmail.com

Abstrak- Salah satu faktor penting dalam menentukan pompa yang akan digunakan dalam suatu sistem adalah head. Di PT.XY terdapat pompa water intake yang digunakan untuk mengambil air sungai yang akan diolah melewati self cleaning filter agar turbidity air sebelum masuk ke proses selanjutnya berkurang. Permasalahan yang terjadi pada PT.XY adalah terjadi kehilangan tekanan sebesar 0.7 [bar] dari discharge pompa menuju inlet self cleaning filter karena pengaruh jarak & fitting pada sistem pemipaan. Untuk menyelesaikan masalah tersebut dibutuhkan analisa kebutuhan minimum head pompa water intake dengan tiga metode yang berbeda, yaitu Hazen-William, Darcy-Weisbach, dan De Chezy-Manning. Dari hasil perhitungan dan analisa metode Hazen-William mempunyai error terkecil sebesar 6.2% dan minimum pressure pompa water intake untuk melewati self cleaning filter adalah 4.2 [bar]

Kata kunci: Pompa, head loss, self cleaning filter, Hazen-William, Darcy-Weisbach, De Chezy-Manning.

Abstract- One important factor in determining the pump to be used in a system is the head. At PT. XY there is a water intake pump that is used to extract river water which will be processed through a self cleaning filter so that the turbidity of the water before entering the process is further reduced. The problem that occurs in PT. XY is that there is a pressure loss of 0.7 [bar] from the pump discharge to the inlet self cleaning filter because of the influence of distance & fitting on the piping system. To solve this problem, it is necessary to analyze the minimum water intake pump head with three different methods, namely Hazen-William, Darcy-Weisbach, and De Chezy-Manning. From the results of calculations and analysis of method, Hazen-William has the smallest error of 6.2% and the minimum pressure of the pump to pass self cleaning filter is 4.2 [bar].

Keywords: Pump, head loss, self cleaning filter, Hazen-William, Darcy-Weisbach, De Chezy-Manning

1. PENDAHULUAN

PT. XY merupakan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang mempunyai 2 unit boiler kapasitas 2x144 [MW]. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dalam operasinya memerlukan sistem-sistem pendukung, salah satunya adalah water treatment plant yang pada fungsinya digunakan untuk menyediakan air tawar (demineral) sebagai air umpan (feed water) ke boiler dengan kualitas air tertentu. Di samping itu, water treatment plant juga berfungsi untuk menyediakan air tawar (desalinasi) untuk kebutuhan fire fighting, potable, dan service water. Water treatment plant PT.XY mengambil sumber air dari sungai dengan kapasitas pompa 250 m³/h. Untuk mengurangi tingkat kekeruhan air, maka harus melewati self cleaning filter yang berjarak 1.5 [km] dari pompa. Semakin panjang jarak fluida yang dialirkan

maka akan membutuhkan daya pompa yang besar, selain hal tersebut head loss, friction loss, minor loss dan major loss dari jaringan perpipaan akan sangat berpengaruh terhadap kinerja pompa tersebut.

Berdasarkan fakta dilapangan pompa water intake tidak mampu mengalirkan air melewati self cleaning filter. Oleh sebab itu penulis mencoba menganalisa dan menghitung kebutuhan minimum pompa water intake dengan menggunakan metode Hazen William, Darcy Weisbach, dan De Chazy Manning.

Dari hasil perhitungan tiga metode tersebut akan dilihat metode yang mempunyai error terkecil jika dibandingkan dengan parameter yang ada dilapangan. Selain itu juga akan dilihat pengaruh head loss terhadap debit fluida yang dialirkan.

2. METODE PERHITUNGAN HEAD LOSS

2.1. Head pompa

[1]Head pompa adalah energi per satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari suction ke discharge. Head pompa terdiri atas head statis dan head dinamis. Head statis meliputi pressure head dan elevation head. Pressure head merupakan energy yang terdapat pada fluida akibat perbedaan tekanan antara suction reservoir dengan discharge reservoir. Sedangkan elevation head merupakan head yang terjadi akibat beda ketinggian dari permukaan fluida di suction reservoir dengan permukaan fluida di discharge reservoir dengan sumbu pompa sebagai acuannya. Sehingga dengan demikian ada dua kondisi instalasi, yaitu: suction head dan suction lift.

[2]Suction head adalah kondisi instalasi pipa, dimana permukaan fluida hisap terletak diatas sumbu pompa. Besarnya elevation head ditunjukkan pada persamaan (2).

$$H_a = H_d - H_s \tag{1}$$

Dimana:

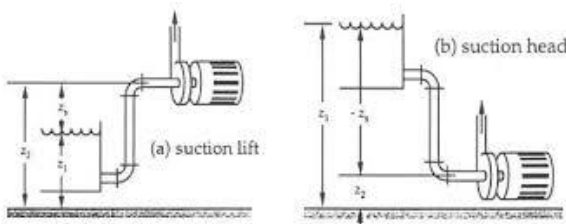
$H_d =$ Head discharge [m]

$H_s =$ Head suction [m]

Sedangkan suction lift adalah kondisi instalasi pipa, dimana permukaan fluida terletak dibawah sumbu pompa. Besarnya elevation head ditunjukkan pada persamaan (3).

$$H_a = H_d + H_s \tag{2}$$

Gambar 2 menunjukkan instalasi pipa suction,



Gambar 1. Instalasi Pipa Suction

untuk suction lift dan suction head.

[3]Head dinamis merupakan head pompa yang terdiri dari velocity head dan head loss. Velocity head merupakan head yang disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan fluida di suction reservoir dengan di discharge reservoir. Sementara head loss adalah kerugian aliran yang terjadi disepanjang saluran pipa, baik itu pipa lurus belokan, saringan, katup, dan

sebagainya. Head loss dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: head loss mayor dan head loss minor. [4]Head loss mayor merupakan suatu kerugian aliran yang disebabkan oleh adanya gesekan antara fluida dengan dinding saluran pipa lurus. Pada perhitungan ini besarnya head loss mayor dihitung menggunakan tiga metode yaitu: Hazen William, Darcy Weisbach, dan De Chazy Manning yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Head loss minor merupakan kerugian aliran yang disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada komponen tambahan seperti elbow, katup, fitting dan lain sebagainya sepanjang jalur perpipaan. Besarnya head loss minor tergantung dari koefisien tahanan (f) equipment yang digunakan.

$$H_l = f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \tag{3}$$

Dimana:

$f =$ Koefisien kerugian gesek

$g =$ Percepatan gravitasi [m/s²]

$V =$ Kecepatan aliran fluida [m/s]

[5]Head total instalasi merupakan penjumlahan dari head statis dengan head dinamis. Head menyatakan besarnya kerugian yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen-komponen yang ada. Head total instalasi dapat dinyatakan dalam persamaan (5).

$$H_{tot} = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2g} \tag{4}$$

Dimana:

$H_{tot} =$ Head total pompa [m]

$h_a =$ Head statis total [m]

$\Delta h_p =$ Perbedaan tekanan

$h_l =$ Head loss dinamis [m]

$V =$ Kecepatan aliran fluida [m/s]

$g =$ Percepatan gravitasi [m/s²]

2.2. Persamaan Hazen William

[6]Persamaan Hazen William umum dipakai untuk menghitung kehilangan tekanan pada pipa besar yaitu diatas 100 [mm]. Secara empiris persamaan ini menyatakan bahwa debit yang mengalir didalam pipa adalah sebanding dengan diameter pipa dan kemiringan hidrolis yang dinyatakan sebagai rasio antara kehilangan tekanan terhadap panjang pipa.

Faktor C yang

menggambarkan kondisi fisik dari pipa seperti kehalusan dinding dalam pipa yang menggambarkan jenis pipa dan umur. Tabel 3 menunjukkan nilai C pada beberapa material pipa. Secara umum persamaan *Hazen William* ditunjukkan pada persamaan (6).

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

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

Sehingga

$$H_l = \left[\frac{Q}{0.2785 \cdot C \cdot D^{2.63}} \right]^{1.85} \cdot L \tag{5}$$

Dimana:

- C* = Koefisien Hazen – William
- D* = Diameter dalam pipa [m]
- H_l* = Head loss mayor [m]
- S* = Kemiringan pipa
- L* = Panjang pipa [m]

Tabel 1. Koefisien Hazen William

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

2.3. Persamaan Darcy Weisbach

[7]Persamaan Darcy Weisbach diturunkan secara sistematis dan menyatakan bahwa kehilangan tekanan sebanding dengan kecepatan kuadrat dari aliran air, panjang pipa dan berbanding terbalik dengan diameter. Besarnya *head loss* mayor dapat dihitung menggunakan metode *Darcy Weisbach* seperti ditunjukkan pada persamaan (7).

$$H_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \tag{6}$$

Dimana:

- f* = Koefisien kerugian gesek

- L* = Panjang pipa [m]
- D* = Diameter dalam pipa [m]
- V* = Kecepatan aliran fluida [m/s]
- g* = Percepatan gravitasi [m/s²]

Besarnya koefisien gesek (*f*) dapat diketahui dari jenis aliran yang terjadi. Untuk aliran laminar, besarnya koefisien gesek (*f*) dapat dihitung dengan persamaan (8).

$$f = \frac{64}{Re} \tag{7}$$

Untuk aliran turbulen, besarnya koefisien gesek (*f*) dapat dihitung dengan persamaan *Darcy*. Rumus ini berlaku atas dasar kerugian head untuk panjang pipa ratusan meter.

$$f = 0.002 + \frac{0.0005}{D} \tag{8}$$

Atau dapat dicari menggunakan *moody diagram* dengan menarik garis harga (*R_e*) diplotkan dengan harga *relative roughness* ($\frac{\epsilon}{D}$).

2.4. Persamaan De Chazy Manning

[8]Persamaan *De Chazy Manning* umum dipakai pada saluran terbuka, tetapi dapat juga dipakai pada jaringan perpipaan. Secara umum persamaan *De Chazy Manning* ditunjukkan pada persamaan (10).

$$H_l = \frac{Q^2 \cdot 4^{10/3} \cdot n^2}{D^{16/3} \cdot \pi^2} \cdot L \tag{9}$$

Dimana:

- H_l* = Head loss mayor [m]
- D* = Diameter dalam pipa [m]
- n* = Koefisien Manning [s/m^{1/3}]
- L* = Panjang pipa [m]

Tabel 4 menunjukkan nilai n pada beberapa material pipa.

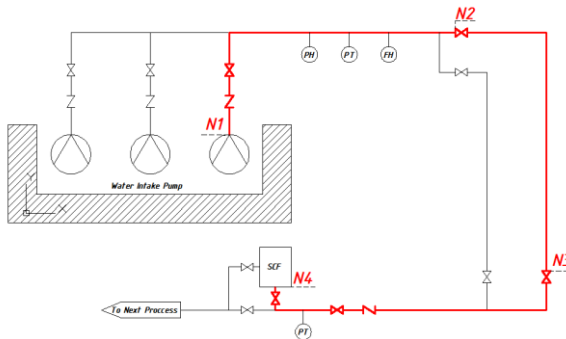
Tabel 2. Koefisien De Chazy Manning

No	Material Pipa	Angka
1	Asbestos Cement Pipe	0.011
2	Tembaga	0.011
3	Pipa Beton	0.011
4	Besi Tuang	0.012
5	Galvanized Iron Pipe	0.012
6	Pipa Besi	0.012

7	Pipa Besi Tanpa Lapisan	0.015
8	Riveted Steel Pipe	0.019
9	PVC	0.010
10	HDPE	0.010

2.5. Layout sistem pemipaan

Untuk mempermudah analisa dan perhitungan *head loss* yang terjadi pada sistem pemipaan, perhitungan *head loss* dibagi menjadi empat *node*, yaitu: N1–N2, N2–N3, N3–N4 seperti ditunjukkan pada gambar 6. Spesifikasi pada N1-



Gambar 2. Layout Sistem Pemipaan

N2, N2 – N3, N3 – N4 ditunjukkan pada tabel 5, 6, dan 7.

Tabel 3. Spesifikasi N1-N2

Data Teknis	Nilai	Unit
Material Pipa	Carbon steel	SA106 B
Diameter Pipa (<i>D</i>)	DN 300 sch 40	[m]
Panjang Pipa (<i>L</i>)	41.87	[m]
Density Fluida (ρ)	1000	[Kg/m ³]
Debit Fluida (<i>Q</i>)	0.0694	[m ³ /s]
Percepatan Gravitasi (<i>g</i>)	9.81	[m/s ²]
Luas Penampang Pipa (<i>A</i>)	0.0721	[m ²]
Viskositas Kinematik (ν)	1.003 x 10 ⁻⁶	[m ² /s]
Roughness (ϵ)	0.003	[m]
Koefisien Hazen-William (<i>C</i>)	110	
Koef De Chezy Manning (<i>n</i>)	0.015	

Tabel 4. Spesifikasi N2-N3

Data Teknis	Nilai	Unit
Material Pipa	HDPE	
Diameter Pipa (<i>D</i>)	DN315 PN 12.5	[m]

Panjang Pipa (<i>L</i>)	1098.46	[m]
Density Fluida (ρ)	1000	[Kg/m ³]
Debit Fluida (<i>Q</i>)	0.0694	[m ³ /s]
Percepatan Gravitasi (<i>g</i>)	9.81	[m/s ²]
Luas Penampang Pipa (<i>A</i>)	0.056	[m ²]
Viskositas Kinematik (ν)	1.003 x 10 ⁻⁶	[m ² /s]
Roughness (ϵ)	7 x 10 ⁻⁵	[m]
Koefisien Hazen-William (<i>C</i>)	130	
Koef De Chezy Manning (<i>n</i>)	0.010	

Tabel 5. Spesifikasi N3-N4

Data Teknis	Nilai	Unit
Material Pipa	Carbon steel	SA106 B
Diameter Pipa (<i>D</i>)	DN 300 sch 40	[m]
Panjang Pipa (<i>L</i>)	24.6257	[m]
Density Fluida (ρ)	1000	[Kg/m ³]
Debit Fluida (<i>Q</i>)	0.0694	[m ³ /s]
Percepatan Gravitasi (<i>g</i>)	9.81	[m/s ²]
Luas Penampang Pipa (<i>A</i>)	0.0721	[m ²]
Viskositas Kinematik (ν)	1.003 x 10 ⁻⁶	[m ² /s]
Roughness (ϵ)	0.003	[m]
Koefisien Hazen-William (<i>C</i>)	110	
Koef De Chezy Manning (<i>n</i>)	0.015	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan *head loss mayor*

Metode perhitungan *head loss mayor* yang dipakai adalah *Hazen-William*, *Darcy-Weisbach*, dan *De Chezy-Manning*. Hal ini dilakukan agar dapat melakukan perbandingan antara hasil perhitungan tiga metode dan parameter yang ada dilapangan.

A. Metode *Hazen William*

Metode ini digunakan untuk menghitung *head loss mayor* yang terjadi pada N1 – N4 dengan menggunakan rumus sesuai persamaan (6).

Tabel 6. *Head Loss Mayor Hazen William*

Node	Panjang [m]	Material	Koefisien	Head Loss [m]
N1-N2	41.87	Carbon Steel	110	0.179

N2-N3	1098.46	HDPE	130	6.190
N3-N4	24.625	Carbon Steel	110	0.105
Total				6.474

B. Metode Darcy Weisbach

Metode ini digunakan untuk menghitung *head loss mayor* yang terjadi pada N1 – N4 dengan menggunakan rumus sesuai persamaan (7).

Tabel 7. Head Loss Mayor Darcy Weisbach

Node	Panjang [m]	Material	Koefisien Gesek	Head Loss [m]
N1-N2	41.87	Carbon Steel	0.04	0.262
N2-N3	1098.46	HDPE	0.0195	6.110
N3-N4	24.625	Carbon Steel	0.04	0.154
Total				6.526

C. Metode De Chazy Manning

Metode ini digunakan untuk menghitung *head loss mayor* yang terjadi pada N1 – N4 dengan menggunakan rumus sesuai persamaan (8).

Tabel 8. Head Loss Mayor De Chazy Manning

Node	Panjang [m]	Material	Koefisien	Head Loss [m]
N1-N2	41.87	Carbon Steel	0.010	0.273
N2-N3	1098.46	HDPE	0.010	6.050
N3-N4	24.625	Carbon Steel	0.015	0.160
Total				6.483

3.2. Perhitungan head loss minor

[9]Minor *head loss* disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada komponen tambahan seperti *elbow, valve, fitting* dan lain sebagainya sepanjang jalur perpipaan. Dihitung dari N1 sampai dengan N4 yang ditunjukkan pada tabel 11.

Tabel 9. Head Loss Minor N1-N4

Node	Komponen	Jumlah	Rumus	Koefisien	Head loss minor [m]
N1-N2	Butterfly Valve	2	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.6	0.057
	Check Valve	2	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	2	0.095
	Reducer	2	$f \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.04	0.0004
	Tee	2	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1	0.0005
	Elbow 90	4	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.3	0.057
N2-N3	Butterfly Valve	-	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.6	-
	Check Valve	-	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	2	-
	Reducer	-	$f \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.04	-
	Tee	-	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1	-
	Elbow 90	4	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.3	0.092
N3-N4	Butterfly Valve	3	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.6	0.085
	Check Valve	2	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	2	0.189
	Reducer	-	$f \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.04	-

Tee	4	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	1	0.189
Elbow 90	5	$f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$	0.3	0.071
Total				0.8359

3.3. Perbandingan tiga metode head loss

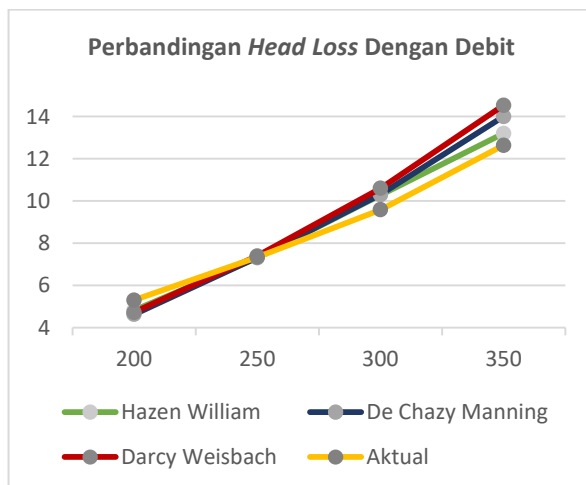
Perhitungan *head loss* dilakukan pada debit 200 [m³/h], 250 [m³/h], 300 [m³/h], dan 350 [m³/h]. Perhitungan *head loss* diperoleh dari penjumlahan antara *head loss mayor* dan *head loss minor*. Sedangkan *head loss* aktual diperoleh nilai *drop pressure* yang terjadi pada *discharge* pompa dan *inlet self cleaning filter*.

Tabel 10. Perbandingan Tiga Metode

Metode	Debit [m ³ /h]	Head Loss		Error [%]
		Perhitungan [m]	Aktual [m]	
Hazen William	200	4.82	5.30	9
	250	7.31	7.34	0.4
	300	10.28	9.58	7.3
	350	13.70	12.64	8
Darcy Weisbach	200	4.73	5.30	10
	250	7.39	7.34	0.7
	300	10.60	9.58	10
De Chazy Manning	200	4.68	5.30	11
	250	7.32	7.34	0.3
	300	10.54	9.58	10
	350	14.35	12.64	13

Nilai *head loss* sebanding dengan besarnya debit dan panjang pipa suatu jaringan dan berbanding terbalik dengan diameter pipa yang digunakan. Perbedaan hasil perhitungan tiga metode diatas terjadi karena perbedaan prinsip dari masing-masing persamaan.

Persamaan *Hazen William* dan *De Chazy Manning* mempunyai nilai hampir sama akan tetapi berbeda cukup tinggi dengan persamaan *Darcy Weisbach*. Perbandingan nilai *head loss* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 3. Perbandingan Head Loss Dengan Debit

3.5. Head total instalasi pompa water intake

[10] *Head total* instalasi merupakan penjumlahan dari *head* statis dengan *head* dinamis. *Head* menyatakan besarnya kerugian yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen-komponen yang ada. Nilai *head total* instalasi yang ditunjukkan pada tabel 13 menggunakan debit 250 [m³/h].

	Hazen William	Darcy Weisbach	De Chazy Manning
Elevation Head [m]	5.516	5.516	5.516
Pressure Head [m]	10.094	10.094	10.094
Velocity Head [m]	0.128	0.128	0.128
Head Loss Major [m]	6.474	6.526	6.483
Head Loss Minor [m]	0.836	0.836	0.836
Head Total Instalasi [m]	23.048	23.100	23.056

Persamaan *Hazen William* dijadikan metode perhitungan untuk menentukan head minimum pompa water intake karena memiliki error terkecil bila dibandingkan dengan metode lainnya pada perhitungan head loss

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

- Metode perhitungan *head loss* yang mempunyai *error* terkecil jika dibandingkan dengan parameter yang ada dilapangan adalah metode *Hazen William* dengan *error* rata-rata sebesar 6.2%. Nilai *head loss* berdasarkan metode *Darcy Weisbach* mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan nilai *head loss* berdasarkan metode *Hazen William* dan *De Chazy Manning*.
- Head* pompa minimum yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida sampai *self cleaning filter* adalah 23 [m] atau setara dengan 2.2 [bar]. Dan minimum *operating pressure self cleaning filter* adalah 2 [bar].

Jadi dibutuhkan minimum *operating pressure* pada pompa sebesar 4.2 [bar]

- c. Nilai *head loss* sebanding dengan besarnya debit dan panjang pipa suatu jaringan dan berbanding terbalik dengan diameter pipa yang digunakan.

4.2. `Saran

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, penulis menyarankan bahwa dibutuhkan penelitian lebih lanjut terhadap *error* yang terjadi pada setiap metode dan pada setiap debit fluida yang di pompa

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sularso and H. Tahara, *Pompa dan Kompresor*. .
- [2] Dadang Suhendra Permana, "Analisa Jenis Dan Spesifikasi Pompa Air Bersih Gedung Pabrik Perakitan PT. ADM," *Sinergi*, vol. 21, no. 2, pp. 91–100, 2017.
- [3] Ubaedilah, "Analisa Kebutuhan Jenis Dan Spesifikasi Pompa Untuk Suplai Air Bersih Di Gedung Kantin Berlantai 3 Pt Astra Daihatsu Motor," *J. Tek. Mesin*, vol. 05, no. 3, pp. 119–127, 2016.
- [4] E. Kelly and I. Aniekan, "Flow Computation of Total Head Losses and Total Pressure Losses in a Typical Gasoline Fuel Injector System," vol. 3, no. 10, pp. 30–47, 2016.
- [5] I. J. Karassik, J. P. Messina, W. H. Fraser, and I. J. Karassik, *Pump Handbook*. .
- [6] B. Dengan *et al.*, "Analisa Hidrolis Pada Komponen Sistem Distribusi Air," vol. 8.
- [7] A. A. Fathurrohman, "Mempelajari Kehilangan Head Pada Pipa Distribusi Jaringan Suplai Air Bersih PDAM Tirta Pakuan," 2012.
- [8] A. Bilgil and H. Altun, "Author ' s personal copy Investigation of flow resistance in smooth open channels using artificial neural networks."
- [9] D. Syahputra, J. T. Mesin, and F. T. Industri, "Analisa distribusi kapasitas aliran fluida di daerah percabangan pada sistem perpipaan," vol. 3, pp. 7–11, 2017.
- [10] Thoharudin, A. S. Nugroho, and S. Unjanto, "Optimasi Tinggi Tekan dan Efisiensi Pompa Sentrifugal dengan Perubahan jumlah sudu Impeller dan sudu Keluar Impeller (β_2) menggunakan Simulasi CFD," *Issn 1979-911X.*, no. November 2014, 2014.