

## Studi Literatur Tentang Program *Pump System Improvement Modeling Tool* Untuk Penyempurnaan Kinerja Sistem Pompa

(Literature Study Of Pump System Improvement Modelling Tool Software For Increasing The Performance Of Pumping System)

SUKAMTA, SYAMSUL MUARIF HUSDA, NOVI CAROKO

### ABSTRACT

In the industrial world often encountered actual loads do not match the design load. These differences lead to energy wastage. Pumping system is one of the systems that always exist in the industry. Improving of pumping system performance is an important step in saving energy. Impeller trimming is one method to improve the performance of the pump system. One of the obstacles in performing the impeller trimming method is to determine the magnitude of the impeller diameter reduction to be performed. Currently, many software developed to improve the performance of pumps and pumping systems. One of the softwares is Pump System Improvement Modeling Tool (PSIM). Impeller trimming method is one of the features in PSIM. To be optimal in the use of PSIM in the improvement of the pump system it is necessary to conduct a literature study on PSIM to improve the performance of the pump system. In this article has been studied PSIM literature on the process of perfection of centrifugal pump system with impeller trimmer method by taking case study on hot water provider system. The method used in this literature study is by comparing the results of PSIM calculations on case studies with the pump theory of the impeller trimming method. Through this comparison will be known the advantages of PSIM and weaknesses, PSIM calculation margin error compared to the theoretical calculations. By knowing these things then it can be determined the limits of the use of PSIM in the improvement of pump system performance. The result of analysis shows that PSIM trimming impeller calculation is based more on the calculation according to affinity law than any other theory, even in the calculation there is error margin. The tendency of data is the greater the value of the reduction the greater the deviation. If based on the theory then the calculation of PSIM which can be used as a guide in calculating the reduction of diameter is a maximum reduction of 15% or 85% of the original diameter. A larger reduction of the value needs to be re-measured to the characteristics of the pump system

**Keywords:** impeller trimming, performance improvement, pump, PSIM.

### PENDAHULUAN

Pompa digunakan untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya dan mensirkulasikan cairan sekitar sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan). Menurut Schofield (2010) operasi pompa sering tidak efisien, sehingga terjadi pemborosan energi. Penyebab terjadinya pemborosan energi antara lain karena sering dalam desain dipilih ukuran pompa untuk menanggung beban maksimal yang belum tentu terjadi. Hal ini tentu selain pemborosan energi juga berdampak negatif terhadap pompa dan instalasinya, atau artinya terjadi peningkatan *Life Cycle Cost* (LCC). *Improvement* atau penyempurnaan kinerja

pompa harus dilakukan untuk menekan LCC. Pengenalan atas karakteristik sistem merupakan informasi utama dalam melakukan penyempurnaan. Sebagai insinyur dituntut mampu menggunakan data karakteristik sistem untuk melakukan penyempurnaan kinerja pompa. Perangkat lunak *Pump System Improvement Modeling Tool* (PSIM) merupakan perangkat bantu untuk menyelesaikan penyempurnaan kinerja pompa (Abelin, 2006). Dengan menggunakan PSIM ini akan dapat mempelajari karakteristik hidrolis dari sistem pompa, sehingga dapat memudahkan dalam menentukan solusi penyempurnaan kinerja pompa. Salah satu yang menonjol dari PSIM adalah sederhana dalam operasinya karena objek sistem pompa

hanya digambarkan skemanya. Perangkat lunak ini menghasilkan skema proses, grafik karakteristik dan biaya. Kajian literatur terhadap perangkat lunak PSIM dilakukan untuk memahami bagaimana memanfaatkan data-data keluaran PSIM dalam rangka menentukan solusi penyempurnaan kinerja pompa.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa kajian tentang *impeller trimming* antara lain dilakukan oleh Savar (2009) yang mengkaji tentang peningkatan efisiensi pompa sentrifugal karena *impeller trimming*. Hasil kajiannya menghasilkan kesimpulan bahwa setelah pengurangan diameter impeler dilakukan ternyata mempengaruhi kesebangunan geometri dan kinematik impeler, tetapi hal ini hanya sedikit mempengaruhi ketidaksesuaian dengan hukum afinitas. Sedangkan Li (2011) menyatakan perhitungan menurut hukum afinitas hanya sesuai ketika pompa bekerja pada BEP baik sebelum maupun sesudah pengurangan diameter. Li juga mengajukan koreksi terhadap hukum afinitas sebagai berikut:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1 D_1}{n_2 D_2}\right)^{1.445} \quad (1)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1 D_1}{n_2 D_2}\right)^{3.346} \quad (2)$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{n_1 D_1}{n_2 D_2}\right)^{0.153} \quad (3)$$

Sementara itu, Chantasiriwan (2013) menyatakan bahwa penggunaan persamaan hukum afinitas untuk menduga besarnya penghematan energi karena pengurangan diameter impeler hanya bagus ketika tidak ada head statis dalam kurva sistem. Head statis menyebabkan kesalahan dalam penurunan tekanan (D), head (H), dan tekanan (P) menggunakan hukum afinitas semata.

#### METODOLOGI PENELITIAN

##### *Persiapan Studi Pustaka*

Langkah awal studi ini adalah pengambilan data dari sumber data sekunder antara lain dari referensi-referensi buku, maupun jurnal-jurnal terkait dengan perbaikan kinerja sistem pompa

dengan metode *impeller trimmer*. Termasuk di dalamnya adalah buku petunjuk dan *help* dari software PSIM guna mengetahui *algorithm* yang digunakan dalam penggunaan metode *impeller trimming*.

##### *Penyusunan Studi Kasus*

Studi kasus disusun berdasarkan hasil studi pustaka. Langkah berikutnya adalah menyusun skema dari sistem pompa dari studi kasus yang sudah ditetapkan, kemudian memasukkan parameter-parameter awal yang ditentukan untuk studi kasus ini kedalam software. Langkah berikutnya melakukan proses awal pada PSIM untuk melakukan tes apakah pengaturan parameter sudah sesuai atau belum. Hasil dari proses awal ini kemudian ditentukan sebagai syarat batas dari studi kasus ini.

##### *Proses Pengurangan Diameter Impeler*

Setelah ditetapkan syarat batas maka dilakukan pengurangan diameter impeler secara bertahap hingga syarat batas terpenuhi. Pada setiap tahapannya dicatat hasil dari proses pengurangan diameter impeler. Langkah-langkah ini dilakukan untuk mengetahui pada diameter berapa pertama kali proses PSIM memenuhi syarat batas yang ditentukan. Setelah diketahui diameter pertama yang memenuhi syarat batas, maka dilakukan langkah berikutnya yaitu mengurangi diameter secara bertahap hingga sistem *error*. Ini dilakukan untuk menguji sejauh mana proses pengurangan diameter impeler diijikan oleh PSIM dan sekaligus mengetahui dampak pengurangan diameter berlebih pada sistem pompa.

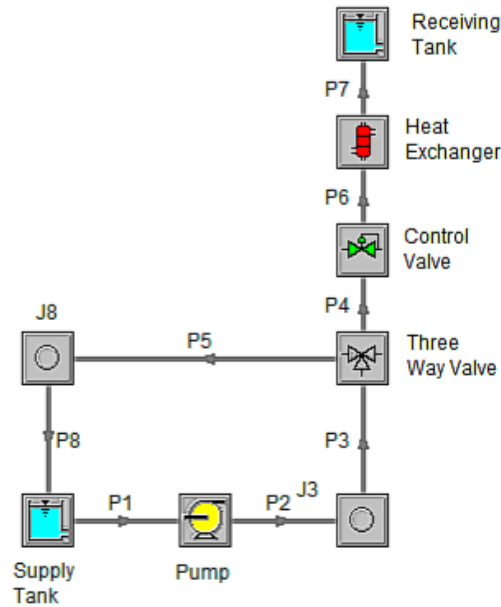
##### *Analisa*

Persamaan-persamaan, data dan kurva diolah dengan *software excel* untuk didapatkan kurva diperbandingkan dengan teori dari literatur-literatur kan memberikan jawaban atas rumusan masalah

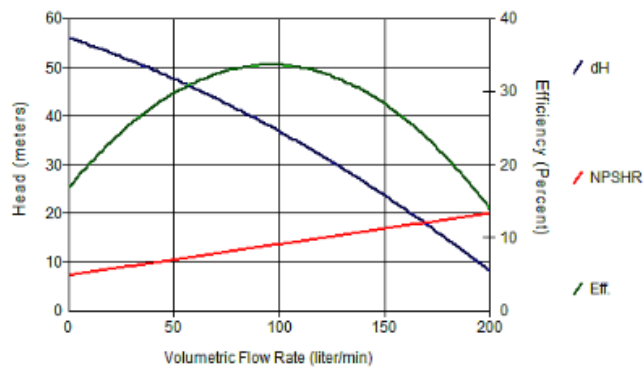
#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### *Studi kasus*

Studi kasus yang dibahas dalam studi ini adalah sistem penyediaan air panas dengan skema gambar 1 sebagai berikut:



GAMBAR 1. Skema studi kasus di PSIM



GAMBAR 2. Karakteristik pompa

TABEL 1. K faktor Heat exchanger (Anonim, 2010)

No.	Kapasitas (liter/mnt)	K
1.	0	0
2.	10	10
3.	20	40

TABEL 2. Cv faktor Three way valve (Anonim, 2010)

No.	Open pct	Cv P4	Cv P5
1	0	100	0
2	30	100	0.7
3	60	100	1.4
4	90	100	2
5	100	100	2.3

Data-data komponen:

1. Heat Exchanger

- a. Kapasitas maksimum : 50 liter/mnt
- b. Diameter pipa : 2.067 inchi (0.052502m)
- c. Elevasi inlet dan outlet : 0 m
- d. Faktor K pipa-pipa adalah fungsi variabel dari kapasitas seperti tabel 1.

2. Control Valve

- a. Tipe valve : Flow control variable (FCV)

- b. Set point : 50 liter/mnt (untuk menjaga ka exchanger)

- c. Head max valve : 17 m

- d. Elevasi : 0 m

3. Three Way Valve

- a. Elevasi : 0 m

TABEL 3. Data pipa-pipa dan sambungan  
(Anonim, 2006)

ID Pipa	Panjang (m)	Diameter (m)	Friction Data Set	Geometri	Material
1	6	0.052502	Standar	silinder	steel
2	5	0.052502	Standar	silinder	steel
3	5	0.052502	Standar	silinder	steel
4	10	0.052502	Standar	silinder	steel
5	5	0.052502	Standar	silinder	steel
6	5	0.052502	Standar	silinder	steel
7	10	0.052502	Standar	silinder	steel
8	5	0.052502	Standar	silinder	steel

b. Arah arus : P2 dipecah menjadi P4 dan P5

c. *Open percent data*

Faktor three way valve seperti pada tabel 2.

#### 4. *Supply Tank*

a. Tekanan permukaan air : 1 atm

b. Level air : 5 m

c. *Pipe depth* : 5 feet (1.524 m)

#### 5. *Receiving Tank*

a. Tekanan permukaan air : 1 atm

#### 6. *Pump*

a. Karakteristik Pompa (gambar 2)

b. *Variable speed* : 100% (konstan)

c. Elevasi *inlet* dan *outlet* : 0 m

Pipa-pipa dan sambungan dapat dilihat pada tabel 3.

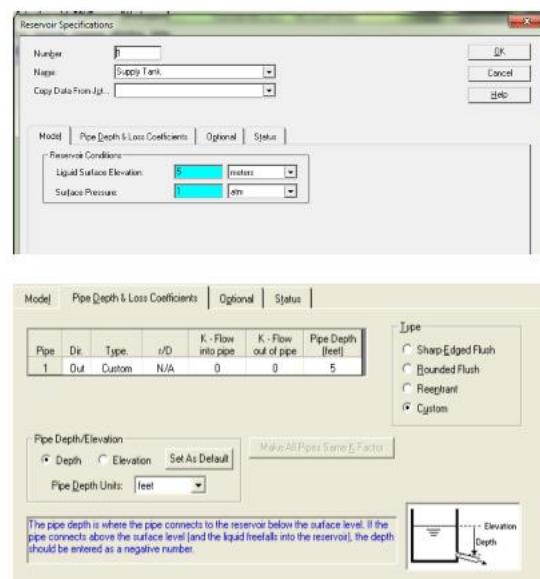
#### *Langkah-langkah pengkajian karakteristik sistem pompa*

#### 1. Menyusun skema dan input data *workspace window* PSIM

##### a. *Supply tank* dan *Receiving tank*

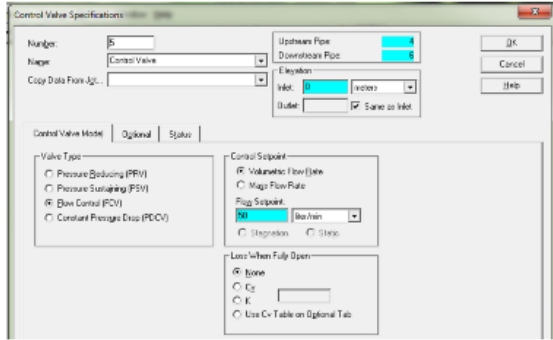
Dengan melakukan klik ganda pada symbol reservoir akan ditampilkan form pada gambar 3.

Pada bagian isian yang ditandai dengan warna biru maka kolom itu harus diisi, jika tidak maka sistem tidak bisa memrosesnya. Pada tab status akan langsung menunjukkan kesalahan bagian pengisian yang dilakukan.



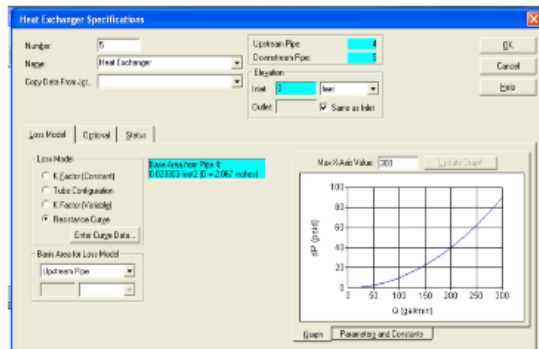
GAMBAR 3. Tampilan spesifikasi reservoir

b. Control valve



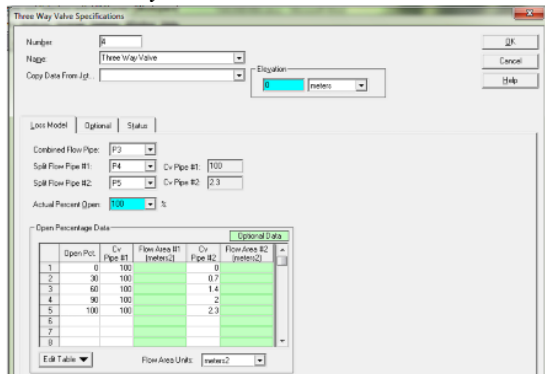
GAMBAR 4. Tampilan spesifikasi control valve

c. Heat exchanger



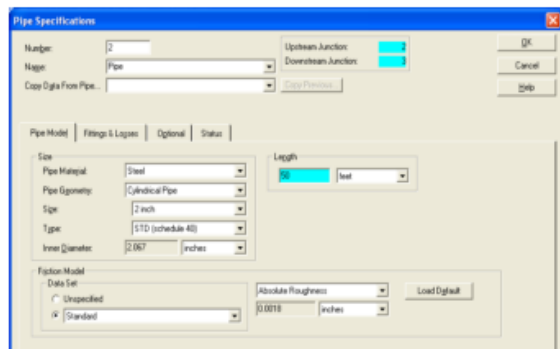
GAMBAR 5. Tampilan spesifikasi heat exchanger

d. Three way valve



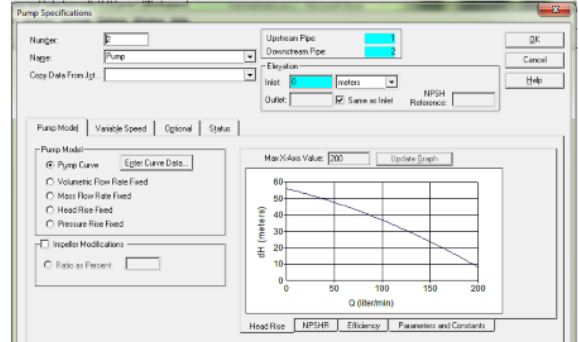
GAMBAR 6. Tampilan spesifikasi Three way valve

e. Pipa P1 s.d. P8



GAMBAR 7. Tampilan spesifikasi pipa

f. Pompa



GAMBAR 8. Tampilan konfigurasi pompa

2. Menjalankan model pada three way valve bukaan katup 0%

Kondisi awal sistem tanpa bypass dan trimming impeller dapat diketahui dengan mengatur sistem pada Three way valve pada bukaan katup 0% dan diameter impeller 100%. Diperoleh data sebagai berikut:

Jct	Name	P-Static	P-Dynamic	P-Static	P-Static	Elevation	Elevation	Q-Static	Q-Static	Q-Static	dH	P-Static	P-Static	P-Static	P-Static
		(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)
1	Pipe	50.00	23.10	0.1502	0.1502	0.476	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1502	0.1502	0.1502	0.1502
2	Pipe	50.00	23.10	0.1502	0.1502	0.476	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1502	0.1502	0.1502	0.1502
3	Pipe	50.00	23.10	0.1502	0.1502	0.476	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1502	0.1502	0.1502	0.1502
4	Pipe	50.00	23.10	0.1502	0.1502	0.476	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1502	0.1502	0.1502	0.1502
5	Pipe	50.00	23.10	0.1502	0.1502	0.476	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.1502	0.1502	0.1502	0.1502

GAMBAR 9. Hasil perhitungan

a. Data Pompa

TABEL 4. Data Pompa

Vol. Flow (l/min)	dH (meters)	Overall Power (kW)	% of BEP (Percent)	NPSHA (meters)	NPSHR (meters)	Energy Cost (\$)
50	47.63	1.302	52.08	15.01	10.45	5,701

b. Data valve

TABEL 5. Data valve

Jct	Name	Vol. Flow (l/min)	dH (m)	Cv	K
5	Control Valve	50	30.56927	2.004	4,046.45
4 [P4]	Three Way Valve	50	0.01228	100	1,625
X4 [P5]	Three Way Valve	0	N/A	N/A	N/A

Kinerja sistem pompa diatas tidak sesuai karena control valve head melebihi ketentuan maksimalnya yaitu 17 m, maka perlu dilakukan perbaikan kinerja.

3. Menjalankan model pada *three way valve* bukaan katup 100%.

Sesuai dengan teori maka langkah untuk awal perbaikan kinerja adalah melakukan *throttling* dan atau *bypass*. Dalam studi kasus ini digunakan *three way valve* yang difungsikan sebagai *bypass valve*, dengan maksud menurunkan *control valve head*. Setelah *running model* diperoleh hasil:

a. Data pompa

TABEL 6. Data pompa hasil proses

Vol. Flow (l/min)	dH (m)	Overall Power (kW)	% of BEP (Percent)	NPSHA (m)	NPSHR (m)	Energy Cost (\$)
110.5	34.28	1.854	115.1	14.94	14.3	8,121

b. Data valve

TABEL 7. Data valve hasil proses

Jct	Name	Vol. Flow (l/min)	dH (m)	Cv	K
5	Control Valve	50	17.01675	2.686	2,252.51
4 [P4]	Three Way Valve	50	0.01228	100	1.625
4 [P5]	Three Way Valve	60.5	33.98302	2.3	3,071.95

Menurut data hasil *running model* PSIM diperoleh *control valve head* menurun tetapi masih sedikit diatas nilai yang diijinkan, maka perlu dilakukan langkah perbaikan kinerja pompa berikutnya. Sesuai dengan teori pengendalian *flowrate* yang dapat menghasilkan *head* dan kapasitas rendah adalah VSD dan *impeller trimmer*. VSD tidak dapat dilakukan karena dalam studi kasus ini kecepatan konstan.

4. Menjalankan model dengan melakukan *impeller trimming* secara bertahap

Sesuai dengan teori maka langkah *impeller trimming* dilakukan dalam kondisi katup *bypass* dibuka 100% dan dilakukan *trimming* secara bertahap. Di dalam studi kasus ini akan dilakukan *trimming* secara bertahap dan setiap tahapan dilakukan uji terhadap kondisi jika katup *bypass* ditutup (dibuka 0%). Diperoleh data sebagai berikut:

a. Data Pompa

TABEL 8. Data Pompa hasil proses *trimming*

No.	Diameter (%)	Valve ByPass (%)	Vol. Flow (l/min)	dH (m)	Overall Power (kW)	% of BEP (Percent)	NPSHA (m)	NPSHR (m)	Efisiensi (%)
1	100	0	50	47.63	1.302	52.08	15.01	10.45	29.8
2	100	10	57.16	46.23	1.393	59.54	15.01	10.91	30.91
3	100	20	64.09	44.83	1.472	66.77	15	11.35	31.8
4	100	30	70.8	43.43	1.541	73.75	14.99	11.78	32.5
5	100	40	77.27	42.04	1.603	80.49	14.98	12.19	33.02
6	100	50	83.51	40.67	1.657	86.99	14.98	12.59	33.37
7	100	60	89.51	39.3	1.707	93.24	14.97	12.97	33.58
8	100	70	94.47	38.16	1.745	98.41	14.96	13.28	33.65
9	100	80	99.26	37.02	1.779	103.4	14.95	13.59	33.64
10	100	90	103.9	35.91	1.811	108.2	14.95	13.88	33.54
11	100	100	110.5	34.28	1.854	115.1	14.94	14.3	33.28
12	95	0	50	42.53	1.146	54.82	15.01	9.586	30.23
13	95	100	107	30.46	1.601	117.3	14.94	13.03	33.16
14	90	0	50	37.7	1.001	57.87	15.01	8.755	30.67
15	90	100	103.5	26.85	1.372	119.8	14.95	11.82	33
16	85	0	50	33.16	0.8674	61.27	15.01	7.959	31.14
17	85	10	55.97	32.13	0.9153	68.59	15.01	8.282	32
18	85	20	61.73	31.1	0.9575	75.66	15	8.594	32.66
19	85	30	67.3	30.08	0.9948	82.47	15	8.895	33.14
20	85	40	72.66	29.06	1.028	89.05	14.99	9.185	33.45
21	85	50	77.82	28.06	1.058	95.37	14.98	9.464	33.62
22	85	60	82.77	27.07	1.085	101.4	14.98	9.732	33.65
23	85	70	86.86	26.24	1.105	106.4	14.97	9.953	33.59
24	85	80	90.79	25.43	1.124	111.3	14.97	10.17	33.44
25	85	90	94.58	24.63	1.142	115.9	14.96	10.37	33.23
26	85	100	100	23.46	1.165	122.5	14.95	10.66	32.81
27	80	0	50	28.9	0.7446	65.1	15.01	7.2	31.61
28	80	100	96.48	20.3	0.9796	125.6	14.96	9.566	32.56
29	75	0	50	24.92	0.6324	69.44	15.01	6.477	32.09
30	75	10	55.17	24.1	0.6615	76.62	15.01	6.724	32.74
31	75	20	60.15	23.29	0.6872	83.54	15	6.962	33.2
32	75	30	64.95	22.48	0.7101	90.21	15	7.191	33.49
33	75	40	69.57	21.69	0.7306	96.62	14.99	7.411	33.64
34	75	50	74	20.91	0.7489	102.8	14.99	7.623	33.64
35	75	60	78.25	20.14	0.7654	108.7	14.98	7.825	33.53
36	75	70	81.75	19.49	0.7782	113.5	14.98	7.992	33.35
37	75	80	85.11	18.86	0.7899	118.2	14.97	8.153	33.1
38	75	90	88.34	18.25	0.8005	122.7	14.97	8.307	32.8
39	75	100	92.96	17.35	0.8147	129.1	14.96	8.527	32.24

b. Data Control Valve

TABEL9. Data Control valve hasil proses trimming

No.	Diameter (%)	Valve ByPass (%)	dH (m)
1	100	100	17.0168
2	95	100	13.2056
3	95	0	25.4666
4	95	10	24.179
5	95	70	16.7566
6	90	100	9.61389
7	90	0	20.6441
8	90	40	16.0047
9	85	100	6.24193
10	85	0	16.1018
11	80	100	3.08931
12	75	100	0.15641

c. Persamaan-persamaan pompa PSIM

PSIM menghasilkan persamaan-persamaan pompa H, η, dan NPSH<sub>R</sub> berdasarkan parameter-parameter yang dimasukkan adalah:

$$H = 56,03819 - 0,1444144Q - 0,000474997Q^2 \tag{4}$$

$$\eta = 16,87428 + 0,349486Q - 0,00181953Q^2 \tag{5}$$

$$NPSH_R = 7,272727 + 0,06363636Q \tag{6}$$

Analisa

Berdasarkan keterangan pada panduan PSIM bahwa perhitungan mengikuti teori afinitas, maka persamaan H, η, dan NPSH<sub>R</sub> karena pengurangan diameter dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Pengaruh Pengurangan Diameter pada Persamaan Head dan NPSH

Berdasarkan persamaan hukum afinitas :

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2} \tag{7}$$

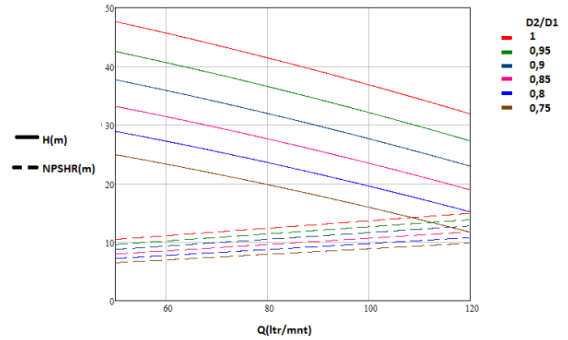
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1} \tag{8}$$

Jika digabungkan maka diperoleh persamaan head dan Net Positive Suction Head Requirement sebagai berikut :

$$H_2 = 56,03819d^2 - 0,1444144dQ_2 - 0,0004749972Q_2^2 \tag{9}$$

Di mana  $d = \frac{D_2}{D_1}$

$$NPSH_{R2} = 7,272727d^2 + 0,06363636dQ_2 \tag{10}$$



GAMBAR 10. Hubungan H(m) dan NPSH<sub>R</sub>

Pada kapasitas (Q) yang sama *trimming impeller* memberikan head (H) dan NPSH<sub>R</sub> (m) yang lebih rendah.

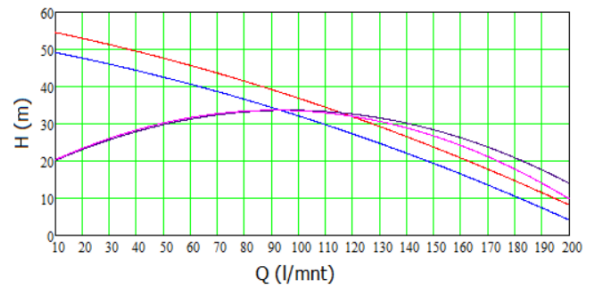
2. Pengaruh Pengurangan Diameter pada Persamaan Efisiensi

Dari PSIM diperoleh persamaan:

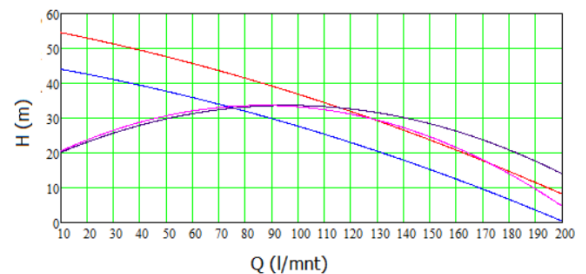
$$\eta = 16,87428 + 0,349486 \frac{Q}{d} - 0,00181953Q \frac{Q^2}{d^2}$$

Di mana  $d = \frac{D_2}{D_1}$

Dapat ditunjukkan dalam grafik sebagai berikut:



GAMBAR 11 Hubungan H dan η dengan d=1 dan d=0.95



GAMBAR 12 Hubungan H dan η dengan d=1 dan d=0.9

Nampak bahwa *trimming impeller* pada H yang tinggi dan Q yang rendah tidak mempengaruhi effisiensinya, sedangkan pada H yang rendah dan Q yang tinggi terjadi penurunan, atau sedikit tidak sesuai dengan hukum afinitas.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan Pembahasan tersebut di atas maka dapat disimpulkan:

- a. Metode *impeller trimming* dapat diterapkan sebagai solusi untuk perbaikan kinerja sistem pompa yang mengalami kapasitas berlebih yang konstan pan tinggi tekanan (*head*) tidak dikehendaki, dimana metode *bypass* dan atau *throttle* sudah tidak dapat mengatasi, sedangkan kecepatan motor tidak dapat divariasi atau konstan.
- b. Tekanan (*head*) statis sistem pompa berpengaruh pada perhitungan metode *impeller trimming*. Pada pengurangan diameter impeler yang lebih dari 15% hasilnya akan sulit diprediksi karena *error margin* semakin besar dibandingkan dengan perhitungan teori. Oleh karena itu metode *trimming* untuk reduksi yang besar harus dilakukan secara bertahap.
- c. Metode *bypass* dan atau *throttling* harus diterapkan sebelum penerapan metode *impeller trimming* guna menurunkan *head static* dan juga dapat dijadikan penyeimbang *flow rate* dan *head* agar sesuai dengan kondisi yang dikehendaki.
- d. Solusi PSIM dapat dijadikan panduan dalam melakukan metode *impeller trimming* karena perhitungannya sudah memasukkan variabel *head static* sistem pompa. Hasil perhitungan PSIM pada penyelesaian studi kasus tugas akhir ini adalah pengurangan diameter impeler hingga menjadi 85% diameter semula.
- e. Kelemahan PSIM dalam melaksanakan metode *impeller trimming* adalah tidak adanya batasan besar pengurangan impeler yang boleh dilakukan. Seharusnya dimunculkan peringatan ketika reduksi diameter melebihi 15% atau diameter berubah 85% diameter semula.
- f. Kekurangan PSIM masih membutuhkan perangkat lunak lain untuk menggabungkan hasil-hasil analisa, untuk dicari solusi optimalnya.

## PENGHARGAAN/ACKNOWLEDGEMENT

Ucapan terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada Program Studi Tekni Mesin yang telah memfasilitasi penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Abelin, S.M.. dll. 2006. *Improving Pumping System Performance, A Source for Industry*. Edisi ke dua. USA:DOE/GO.

Anonim. 2006. *Pompa & Sistem Pemompaan*. United Nations Environment Programme (UNEP).Melalui<[http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee\\_modules/indo/Chapter%2020Pumps%20and%20pumping%20systems%20\(Bahasa%20Indonesia\).pdf](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%2020Pumps%20and%20pumping%20systems%20(Bahasa%20Indonesia).pdf)> [11/20/13]

Anonim. 2010. *Centrifugal Pump Handbook*. Edisi ke 3. Switzerland: Sulzer Pump Ltd.

Chantasiriwan, S. 2013. *Estimation of Power Consumption by Centrifugal Pump with Reduced Impeller Size*. Thammasat International Journal of Science andTechnology, Vol. 18.

Li, W.G. 2011. *Impeller Trimming of an Industrial Centrifugal Viscous Oil Pump*. Advanced Design and Manufacturing Technology, Vol. 5/ No. 1/ December – 2011.

Savar, M. dll. 2009. *Improving Centrifugal Pump Efficiency by Impeller Trimming: Desalination*, Vol. 249, pp. 654-659.

Schofield, S.. 2010. *Variabel Speed Driven Pumps Best PracticeGuide*. British Pump Manufacturers' Association (BPMA). Melalui <http://www.bpmaenergy.org.uk/USERIMAGES/GPG344%20Variabel%20speed%20best%20practice%20for%20pumps.pdf> >[09/08/13].

## PENULIS:

Sukamta

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183.

Email: sukamta@umy.ac.id

Samsul Muarif Husda

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183.

Novi Caroko

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183.

Email: novicaroko@yahoo.co.id