

Rekayasa Simulasi CFD ANSYS Pengaruh Tinggi *Siphon* Terhadap Distribusi Tekanan dan Debit Air di Sepanjang Aliran Pipa pada Industri Kecil Penyedia Air Bersih

Iqbal Nashrullah¹, Setyo Nugroho², Achmad Bahrul Ulum³

^{1,2,3}Prodi D4 Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

iqbalnashrullah080697@gmail.com

Diterima (Agustus, 2019), direvisi (Agustus, 2019), diterbitkan (September, 2019)

Abstract

In the implementation of the siphon system it is used to prevent failure of rising groundwater levels that flow in the highlands including mountain slopes. The siphon system experiences greater drop pressure along with the increase in the height of the siphon, which should have higher pressure with a constant flow and an increase in the height of the siphon to achieve greater siphon system efficiency. To find out the value of pressure drop and the cause of the pressure drop on the siphon system, three methods are used, namely theoretical calculation, simulation of CFD ANSYS and actual measurements using pressure gauge water of bordoun type analogous with variations of valve opening 100% full opened, 66,67% opened, and 33,33% opened and the heights of the siphon are 1 meter, 1,5 meters and 2 meters. From the results of the three methods, the average water flow rate varies based on the height of siphon 1 meter, 1,5 meters and 2 meters is 0,0000854 m³/s to 0,0002716 m³/s and the average pressure of 111.736,7 N/m² to 88.899,57 N/m². While the average value of siphon based on variations in valve openings with the same height of siphon is obtained 83.939,634 N/m² to 130.400,615 N/m². In addition, an error value between theoretical calculation and CFD simulation of 0,03% to 1,18% and error of the between theoretical calculations and actual measurements is 0,08% to 1,10%.

Keyword : *Siphon; Pressure Distribution; CFD ANSYS; Pressure Drop; % Error*

1. PENDAHULUAN

Pada zaman modern ini semakin meningkat kebutuhan air yang digunakan seiring dengan berkembangnya teknologi hidrodinamika. Pada umumnya, teknologi hidrodinamika yang sering digunakan adalah teknologi pompa dengan prinsip hisap dan mengalirkan air dari suatu ketinggian tertentu dengan instalasi perpipaan tertentu pula [1]. Salah satu penerapan teknologi hidrodinamika adalah sistem *siphon* pada daerah dataran tinggi untuk menjaga kestabilan aliran pada lereng akibat kenaikan muka air tanah saat musim hujan dengan instalasi peralatan ini maka elevasi muka air tanah menjadi sama dengan elevasi air saat musim panas [2]. Jaringan pipa *siphon* ini dipakai untuk memenuhi kebutuhan lahan-lahan pertanian, penyediaan air minum penduduk dan peternakan [2]. Di Negara Indonesia masih jarang menggunakan jenis teknologi hidrodinamika *siphon* karena instalasi yang masih digunakan desain pemasangan instalasi perpipaan belum terstruktur dengan baik serta terdapat kerugian tekanan di

sepanjang aliran pipa pada sistem *siphon* [2]. Pada penelitian sebelumnya sistem *siphon* untuk mengetahui performa pompa sentrifugal diperoleh nilai tekanan semakin berkurang seiring dengan kenaikan tinggi *siphon* [2].

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah sistem *siphon* menggunakan pompa sentrifugal dan variasi ketinggian pipa dengan variasi bukaan *valve*. Untuk mengetahui nilai distribusi tekanan tiap ketinggian *siphon* dengan variasi bukaan *valve* digunakan metode perhitungan teori, simulasi CFD ANSYS dan pengukuran aktual menggunakan alat ukur *pressure gauge* analog. Selain dengan melakukan cara – cara diatas, penentuan nilai koefisien gesek minor *fitting pipe*, persamaan rumus teori yang digunakan, kemampuan simulasi CFD ANSYS mendefinisikan aliran dalam pipa pada desain aliran dalam perpipaan sistem *siphon* dan kemampuan alat ukur *pressure gauge* analog merupakan faktor keakuratan nilai distribusi tekanan tiap ketinggian *siphon*.

2. MATERI DAN METODE

Sistem *siphon* adalah suatu *drainase* untuk mengalirkan air dari dataran rendah ke dataran tinggi di atas permukaan lereng untuk mencegah kenaikan muka air tanah akibat ketersediaan sumber air yang sangat melimpah [2]. Distribusi tekanan dipengaruhi oleh faktor kerugian tekanan yang terjadi pada sepanjang pipa instalasi sistem *siphon* baik gesekan dengan dinding pipa maupun *fitting pipe* yang digunakan [3]. Secara teori mekanika fluida distribusi tekanan dapat diketahui dengan cara menghitung *head losses major*, *head losses elevation*, *head losses minor* dan persamaan Bernoulli [2,3,4]. Metodologi penelitian yang digunakan yaitu perhitungan teori, simulasi CFD ANSYS dan pengukuran aktual menggunakan alat ukur *pressure gauge water* tipe *bordoun analog* yang terpasang tiap ketinggian *siphon* 1 meter, 1,5 meter dan 2 meter dengan variasi debit aliran fluida masuk [5,6,7]. Berikut persamaan teori yang digunakan :

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{in} \cdot D}{\mu} \dots (2.1) ; f_{laminar} = \frac{64}{Re} \dots (2.2)$$

$$f_{turbulen} = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots (2.3) ; H_{l\ major} = \cdot \frac{L}{D_i} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots (2.4) ; h_{l\ minor} = \Sigma K \frac{v_{in}^2}{2 \cdot g} \dots (2.5)$$

$$Q_2 = CA^2 \sqrt{2gh} \dots (2.6) ; C = \frac{1}{\sqrt{1 + f \frac{L}{D_i} + \Sigma K}} \dots (2.7)$$

$$\text{Pers. Bernoulli} : \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + z_2 \right) = \frac{h_{lm\ total}}{g} = H_{lm\ Total} \dots (2.8)$$

Keterangan :

ρ = massa jenis fluida = 996,6 kg/m³ ; $T_{air} = 27^{\circ}C$

Q_1 = debit aliran fluida masuk (m³/s) ;

Q_2 = debit aliran fluida keluar (m³/s)

V_{in} = kecepatan awal masuk sisi *discharge* m/s

D_i = diameter dalam pipa (m)

K = koefisien gesek minor

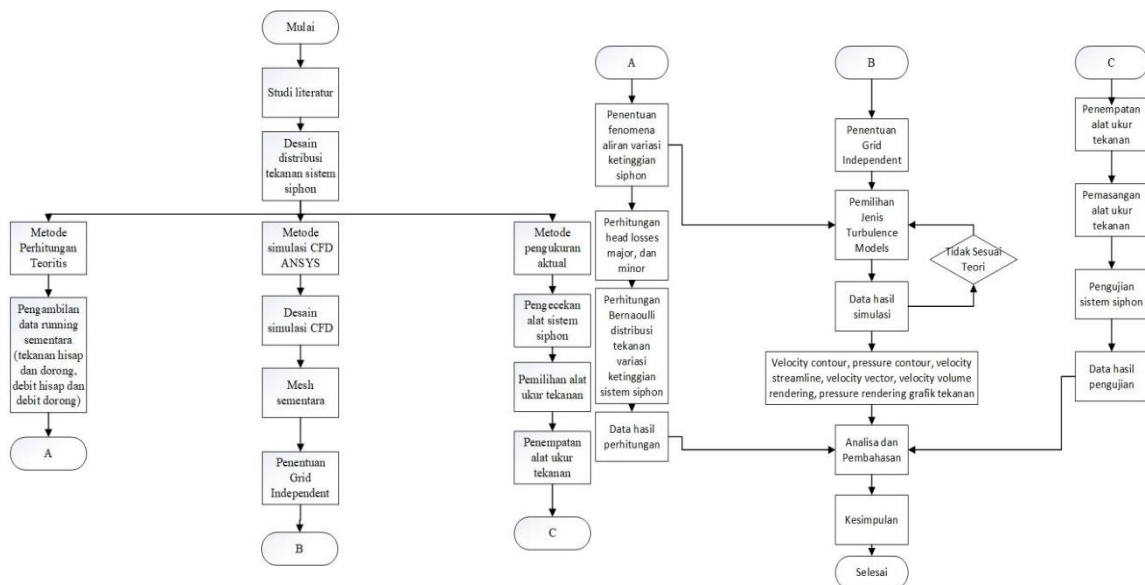
Re = *reynolds number*. $Re < 2300$ = aliran laminar dan $Re > 2300$ = aliran turbulen

L = total panjang lintasan yang dilalui fluida (m) ; C = faktor koreksi debit aliran

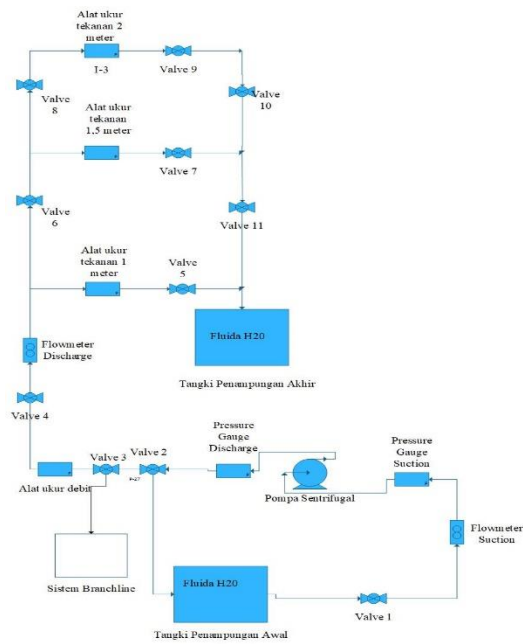
g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s²

- h = perbedaan elevasi hulu dan hilir (m)
- μ = viskositas fluida (N.s/m²)
- ϵ = kekasaran pipa = 0 (*smoothing pipe*)
- P_1 = tekanan absolut masuk pada titik referensi atau ketinggian *siphon* 0 meter (N/m²)
- P_2 = tekanan absolut keluar pada ketinggian *siphon* tertentu (N/m²)
- α = faktor koreksi kecepatan dalam satuan energi, $\alpha = 1$ karena $\Delta E_k =$ kecil dan $\Delta v =$ kecil
- z_1 = ketinggian 0 meter pada titik referensi
- $H_{lm\ Total}$ = total *head losses major* dan *minor* (m)
- z_2 = ketinggian *siphon* pada titik tertentu (1 meter, 1,5 meter dan 2 meter)
- g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
- A = luas penampang pipa (m²)
- f = *friction factor*

Di bawah ini gambar 2.1 (a) dan gambar 2.1 (b) menjelaskan tentang diagram alir metodologi penelitian dan diagram proses penelitian. Terdapat tiga metode yang digunakan yaitu perhitungan teori, simulasi CFD ANSYS dan pengukuran aktual. Gambar 2.1 (b) adalah proses aliran fluida air dialirkan dengan pompa sentrifugal dari tangki penampungan awal melalui saluran pipa *suction* ½ inch dan *discharge* ¾ inch yang melewati *fitting pipe* dan instrumen pipa *ball valve* hingga tangki penampungan akhir dengan ketinggian 1 meter, 1,5 meter dan 2 meter. Aliran fluida mengalir pada satu aliran secara bergantian variasi yang dilakukan atau tidak bercabang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. (a) Metodologi Penelitian ; (b) Process Flow Diagram Distribusi Tekanan Sistem Siphon ; Konstruksi Siphon

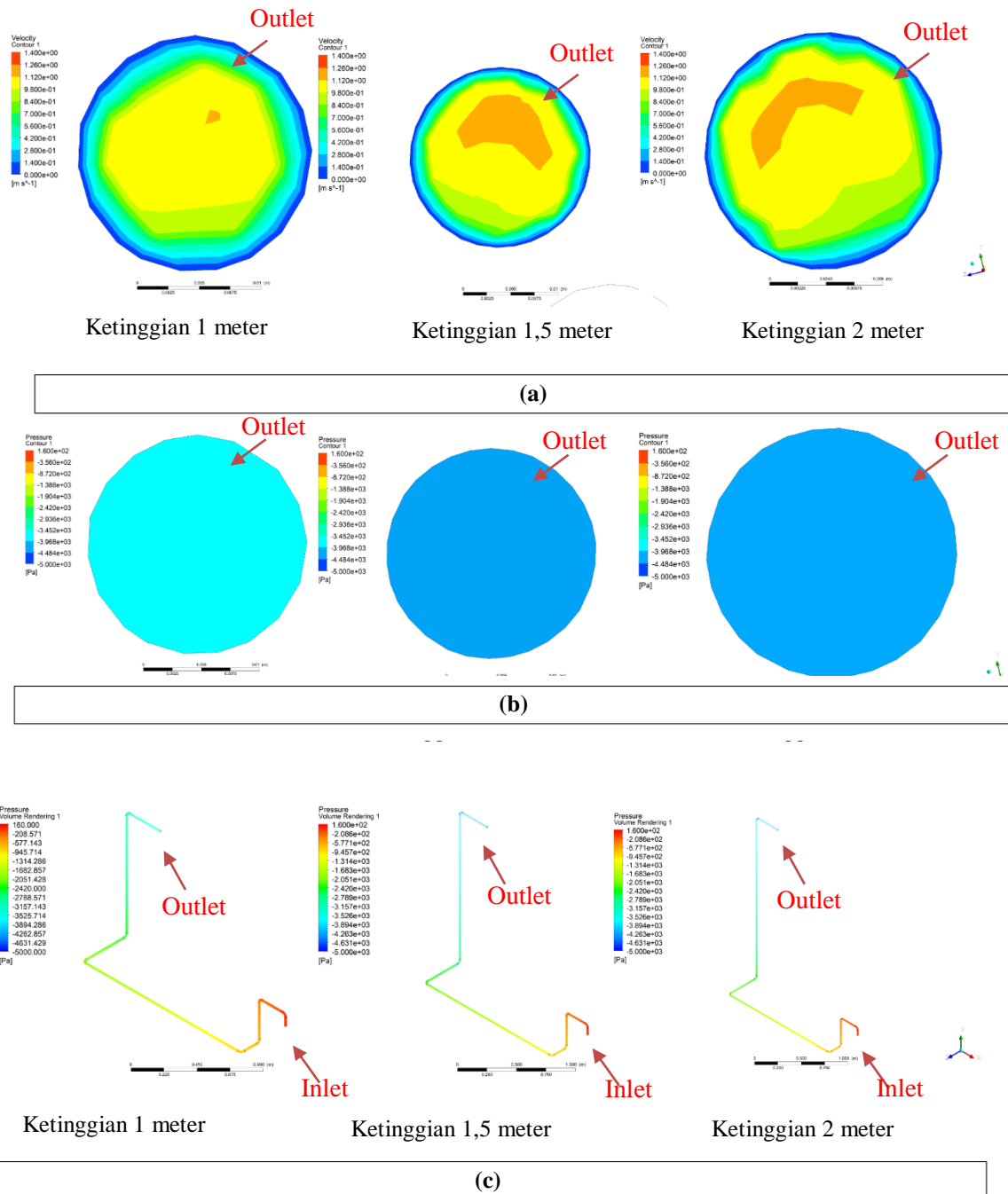
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan teori distrisbudi tekanan diperoleh pengaruh semakin besar ketinggian *siphon* maka semakin besar debit aliran *siphon* karena membutuhkan energi yang lebih besar seiring dengan bertambahnya *head total* supaya air tetap dapat mengalir pada ketinggian *siphon*, namun pengaruh semakin besar ketinggian *siphon* maka semakin kecil tekanan *siphon* karena seiring dengan bertambahnya *pressure drop* atau tekanan hilang di sepanjang pipa akibat penambahan *head total*.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Teori Distribusi Tekanan dan Debit Aliran Siphon

h (m)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)	Absolut P ₂ (N/m ²)	Absolut P ₁ (N/m ²)
1	0,00031	0,00021308	92.451,392	119.935,32
	0,00028335	0,00019096	97.669,730	126.144,900
	0,00013032	0,00006552	142.788,861	181.075,38
1.5	0,000306	0,00027552	83.729,747	121.896,65
	0,0002856	0,00024864	88.347,433	127.452,61
	0,0001206	0,0000868	137.788,321	182.382,6
2	0,000295	0,000362	76.062,903	123.857,98
	0,000283	0,000294	81.991,278	131.374,78
	0,0001666	0,00010388	108.644,543	183.036,22

Berdasarkan hasil simulasi CFD ANSYS pada sisi *velocity contour* sisi *outlet* semakin besar ketinggian *siphon* dengan bukaan *valve* Q_1 yang sama diperoleh fenomena aliran nilai *contour* kecepatan semakin tinggi dari variasi bukaan *valve* $Q_{100\%}$ ke bukaan *valve* $Q_{66,67\%}$ hal ini dikarenakan energi fluida yang dibutuhkan semakin besar supaya dapat mengalir pada ketinggian *siphon* yang semakin tinggi. Namun pada bukaan *valve* $Q_{66,67\%}$ ke bukaan *valve* $Q_{33,33\%}$ nilai *contour* kecepatan semakin rendah, hal ini dikarenakan energi fluida yang dibutuhkan semakin besar seiring dengan bertambahnya kehilangan energi fluida akibat *fitting pipe* yang dilalui fluida.



Gambar 2. (a) *Velocity contour*; (b) *Pressure contour*; (c) *Pressure Volume Rendering*

Sedangkan sisi *pressure contour* sisi *outlet* semakin besar ketinggian *siphon* dengan bukaan *valve* Q_1 yang sama diperoleh fenomena aliran nilai *contour* tekanan *siphon* semakin kecil karena semakin *pressure drop* yang diakibatkan oleh kerugian fluida *head losses mayor & minor* sehingga sebagian tekanan fluida hilang dan terjebak di bagian *fitting pipe* dan dinding pipa.

Untuk sisi *pressure volume rendering* semakin besar ketinggian *siphon* dengan bukaan *valve* Q_1 yang sama diperoleh fenomena aliran nilai distribusi tekanan *siphon* semakin kecil dari sisi *inlet* sampai *outlet* hal ini dikarenakan akibat *fitting pipe elbow 90°* sebagai efek *head losses minor* yang besar, dimensi panjang pipa horizontal yang semakin panjang, ketinggian *siphon* yang semakin besar dan gaya gravitasi yang berlawanan dengan arah aliran fluida air sehingga menyebabkan nilai distribusi tekanan semakin kecil. Berikut di bawah ini gambar 3.1 disajikan salah satu fenomena aliran dan tabel 3.2 data simulasi CFD ANSYS distirbusi tekanan dan debit aliran *siphon* pada ketinggian *siphon* 1 meter, 1,5 meter dan 2 meter dengan bukaan *valve* $Q_{66,67\%}$ *opened* :

Tabel 2. Hasil Simulasi CFD ANSYS Distribusi Tekanan dan Debit Aliran *Siphon*

h (m)	Bukaan Valve	Q1 (m3/s)	Simulasi CFD (Absolut)	
			Q2 (m3/s)	P2 (N/m2)
1	100%	0,00031	0,00021518202	92.501,652
	66,67%	0,00028335	0,00019239086	96.513,915
	33,33%	0,00013032	0,00006656462	144.230,7563
1.5	100%	0,000306	0,00027240830	83.270,894
	66,67%	0,0002856	0,00024597656	88.461,447
	33,33%	0,0001206	0,00008681705	137.743,1336
2	100%	0,000295	0,00032338236	76.037,356
	66,67%	0,000283	0,00029204896	81.912,546
	33,33%	0,0001666	0,00010376898	108.765,401

Berdasarkan hasil pengukuran aktual yang telah dilakukan diperoleh hasil nilai tekanan sistem *siphon* semakin kecil seiring dengan kenaikan ketinggian *siphon* namun seiring dengan bukaan *valve* semakin besar. Hal ini dikarenakan energi fluida berupa debit aliran yang dibutuhkan semakin besar untuk melalui lintasan instalasi pipa yang semakin panjang dan ketinggian *siphon* semakin tinggi. Sedangkan aliran fluida mengalami hambatan yang diakibatkan oleh *fitting pipe* meliputi *elbow 90° threaded*, *T line flow*, *T branch flow*, *ball valve*, *flowmeter*, *reducer*, dan *increaser* yang menyebabkan sebagian tekanan fluida air tertinggal bagian *fitting pipe* dan instrumentasi *valve*. Berikut tabel 3.3 data pengukuran aktual distirbusi tekanan *siphon* tiap ketinggian *siphon* dan variasi bukaan *valve*:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Aktual Distribusi Tekanan Siphon

h (m)	Q1 (m ³ /s)	Pengukuran Aktual (absolute) P2 (N/m ²)
1	Q100%	0,00031
	Q66,67%	0,00028335
	Q33,33%	0,00013032
1.5	Q100%	0,000306
	Q66,67%	0,0002856
	Q33,33%	0,0001206
2	Q100%	0,000295
	Q66,67%	0,000283
	Q33,33%	0,0001666

Nilai error perbedaan nilai debit aliran antara perhitungan teori dan simulasi CFD ANSYS sebesar 0,019% sampai 1,59%. Nilai error perbedaan nilai tekanan antara perhitungan teori dan simulasi CFD ANSYS sebesar 0,03% sampai 1,18% dan nilai error perbedaan nilai tekanan antara perhitungan teori dan pengukuran aktual sebesar 0,08% sampai 1,10%.

Nilai nilai error perbedaan antara perhitungan teori dan simulasi CFD sangat besar dikarenakan simulasi CFD hanya bisa mendefinisikan saluran pipa dan *fitting pipe elbow 90°* sebagai nilai *head losses major* dan *minor*. Sedangkan nilai nilai error perbedaan antara perhitungan teori dan pengukuran aktual cukup besar dikarenakan debit aliran yang mengalir dalam pipa cukup besar sehingga instalasi pipa tidak bisa menampung debit air dengan baik (kondisi *steady state* fluktuatif) dan nilai koefisien gesek *fitting pipe ball valve* yang berbeda setiap referensi nilai yang digunakan. Berikut tabel 3.4 nilai prosentase *error* dari hasil ketiga metode yang digunakan:

Tabel 4 Nilai Error Distribusi Tekanan dan Debit Aliran Siphon (%)

Q2 (m ³ /s) Teori - Simulasi	Nilai Error (%)	
	P2 (N/m ²) Teori - Simulasi	P2 (N/m ²) Teori - Aktual
0,986491459	0,054363703	0,127647618
0,749296188	1,18339121	1,102685551
1,594358974	1,009809372	0,939197211
1,129390244	0,548016704	0,085963475
1,071204955	0,129051854	0,122949809
0,019645161	0,032794797	0,33211015
0,863776824	0,033586675	0,081716576
0,663619048	0,096024848	0,129144224
0,106873315	0,111241666	0,167005167

4. KESIMPULAN

Perhitungan teori, simulasi CFD ANSYS, dan aktual menunjukkan pengaruh ketinggian *siphon* terhadap debit aliran ketinggian *siphon* Q_2 adalah berbanding lurus namun berbanding terbalik dengan tekanan *siphon* P_2 . Penurunan tekanan *siphon* terjadi karena pengaruh *fitting pipe*, adanya pengaruh *head loss major*, *head losses minor*, *head elevation* pada sistem *siphon* dan gravitasi yang berlawanan dengan arah aliran fluida air.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ir. Dedeng Herlan, MSi. (2011). Analisis Unjuk Kerja Jaringan Pipa *Siphon* Jurnal Konstruksi. Vol. 1 No.3.
- [2] Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI. (2014). Rekayasa Hidraulika Kestabilan Lereng dengan Sistem Siphon: Studi Kasus di Daerah Karangsembung Jawa Tengah Semarang. *Ris.Geo.Tam* Vol. 24 No.2 (103-114).
- [3] Helmizar. (2010). *Tugas Akhir : Studi Eksperimental Pengukuran Head Losses Major (Pipa PVC Diameter 3/4") dan Head Losses Minor (Belokan Knee 90° Diameter 3/4") Pada Sistem Instalasi Pipa*. Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- [4] Philip J. Pritchard. (2011). *Fox and McDonald's : Introduction Fluid Mechanics 8th*. John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Supardi, Max Millian Renwarin. (2015). *Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Debit Aliran dan Pipa Isap (Suction) Terhadap Karakteristik Pompa Sentrifugal yang Dioperasikan Secara Paralel*. Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Vol. 1 No.1.
- [6] *Realize Your Product PromiseTM*. (2012). *Introduction to ANSYS Fluent*. Copyright ANSYS, Inc.
- [7] Negara Priana Wendy. (2007). *Tugas Akhir : Perbandingan Analisis Pressure Drop Pada Pipa Lengkung 90 derajat Standar ANSI B36.10 Dengan COSMOSflowWorks*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Industri.