

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR *SLING PUMP* JENIS KERUCUT DAN KONDISI PENCELUPAN TERHADAP UNJUK KERJANYA

Dian Ery Kurniawan

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Teknik Mesin, Yogyakarta 55138, Indonesia
dianerykurniawan@yahoo.com

Abstrak

Air sangat bermanfaat bagi manusia dalam kehidupan sehari-hari. Pada saat musim kemarau air sulit didapatkan padahal masih banyak aliran sungai, maka diperlukan sebuah alat untuk mengalirkan air ke tempat yang lebih tinggi. salah satu alat tersebut adalah *sling pump*. *Sling pump* merupakan pompa alternatif energi terbarukan yang konstruksinya terdiri dari lilitan selang pada rangka. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter penting dalam unjuk kerjanya, terutama pengaruh kecepatan putar *sling pump* terhadap debit yang dihasilkan.

Alat ini memanfaatkan energi aliran air untuk menghasilkan debit. Pompa ini terdiri dari sejumlah lilitan selang pada sebuah kerangka dan diujungnya terpasang blade. Ketika air menumbuk blade maka *sling pump* akan berputar dan air akan masuk kedalam lilitan selang. Akibat dari putaran lilitan selang tersebut, air yang berada dalam selang akan tertekan sehingga air termampatkan. Efek termampatkannya air di dalam selang, air dapat dialirkan ketempat yang lebih tinggi dari permukaan air sungai

Pada pengujian ini diperoleh debit air yang dihasilkan oleh *sling pump* dengan variasi kecepatan putar 30, 40, dan 50 rpm dan persentase pancelupan sangat berpengaruh terhadap debit yang dihasilkan, Titik debit maksimum berada pada kondisi tercelup *sling pump* 50% di dalam air dengan kecepatan putar 50 rpm yaitu sebesar 4,71 liter/menit.

Kata kunci : Energi terbarukan, *Sling pump*, variasi kecepatan putar, kondisi pencelupan, .

1. Pendahuluan

Ada beberapa sumber energi, yaitu energi yang dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Energi yang dapat diperbarui diantaranya energi angin, energi air, energi gelombang laut. Energi-energi tersebut sangat berpotensi di Indonesia dan pemanfaatannya belum dikelola secara maksimal. Sedangkan energi yang tidak dapat diperbarui adalah energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, gas alam, dan nuklir. Sedangkan pemanfaatan energi yang tidak dapat diperbarui ini menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan sehingga ketersediaan semakin menipis.

Energi yang dapat diperbarui seperti angin, air, sinar matahari, gelombang laut. Dimana energi tersebut sangat berpotensi di Indonesia, akan tetapi energi tersebut masih belum dimanfaatkan. Secara optimal sebagai energi pengganti energi fosil yang semakin menipis. Seperti energi air yang melimpah dan tersebar

hampir merata di Indonesia. Energi air mudah diperoleh dan persediaannya sangat mencukupi, misal dengan memanfaatkan aliran air sebagai energi pembangkit pompa air.

Air sangat bermanfaat bagi manusia dalam kehidupan sehari-hari, seperti untuk minum, mandi, pengairan lahan persawahan, peternakan, dan lain-lain. Pada saat musim kemarau air sulit didapatkan, padahal masih banyak aliran sungai di daerah tersebut, namun letaknya lebih tinggi dibandingkan aliran sungai, maka diperlukan sebuah alat untuk mengalirkan air ke tempat tersebut. Untuk mengalirkan air dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi dengan menggunakan pompa air, dan salah satu jenis pompa air adalah *sling pump*.

Sling pump adalah sebuah pompa yang tidak menggunakan bahan bakar fosil maupun energi listrik. Pompa ini terdiri dari

lilitan selang pada sebuah kerangka yang berbentuk kerucut dan pada kerangka terdapat sebuah fan, *sling pump* bekerja dengan prinsip gaya achimedes. Ketika air menumbuk fan maka *sling pump* akan berputar dan air akan masuk kedalam lilitan selang. Akibat dari putaran lilitan selang tersebut air yang berada dalam selang akan tertekan sehingga air termampatkan. Efek termampatkannya air didalam selang, air dapat dialirkan ketempat yang lebih tinggi dari permukaan aliran air sungai tersebut. Memperhatikan realita diatas *sling pump* dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengalirkan air.

Setiap alat mempunyai kelebihan dan kekurangan, *sling pump* mempunyai keunggulan, diantaranya tidak memerlukan energi fosil dan energi listrik, memanfaatkan energi aliran air sungai, perawatan mudah, ekonomis dan ramah lingkungan. Adapun kekurangan dari *sling pump* adalah konstruksi rotari seal yang benar-benar rapat, bila terjadi kebocoran air tidak akan mengalir sehingga diperlukan perhatian yang lebih.

Sebelum diaplikasikan di lapangan, perlu dilakukan pengujian dan penelitian *sling pump* skala laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui hal-hal yang mempengaruhi unjuk kerja *sling pump*. Dalam perkembangannya, alat ini belum banyak di publikasikan dan juga belum banyak digunakan. Sebagai langkah pengembangan dapat dilakukan penelitian dengan variasi kecepatan putar 30 rpm, 40 rpm, dan 50 rpm dengan harapan meningkatkan unjuk kerja *sling pump* menggunakan *manifold* yang baru.

2. Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

Pada Penelitian *sling pump* pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya skala laboratorium tipe kerucut dengan variasi kecepatan putaran yaitu 30, 40, dan 50 rpm. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil optimal terjadi pada putaran 50 Rpm yaitu dengan debit 2,5 liter/menit (Rakhman, 2009).

Pada penelitian *sling pump* sebelumnya tipe tabung dengan variasi kecepatan putaran 30, 40, dan 50 rpm, dari hasil penelitian tersebut diperoleh debit

optimal pada putaran 50 Rpm yaitu dengan debit 6,41 liter/menit (Hidayat, 2009).

Efendi,(2015) pernah meneliti tentang *sling pump* skala laboratorium tipe kerucut dengan variasi jumlah inlet dan variasi kondisi pencelupan. Debit air paling optimal dari hasil penelitian tersebut terdapat pada kondisi pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dengan jumlah 2 inlet yaitu sebesar 10,39 liter/menit,

Metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya adalah memanfaatkan kecepatan putaran *sling pump*. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi putaran 30 rpm, 40 rpm, dan 50 rpm dengan ketinggian *delivery* 2 meter menggunakan selang pelastik $\frac{3}{4}$ " dan manifold yang baru, penelitian ini belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh sebab itu peneliti ingin mengetahui hasil perbandingan debit yang dihasilkan oleh penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan.

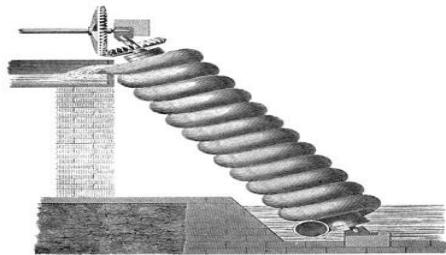
Pada kisaran tahun 287–212 SM, seorang yang bernama *Archimedes* menemukan sebuah piranti untuk memindahkan air dari danau ke saluran irigasi pertanian *Syracuse* di *Sicily*. Alat ini kemudian dikenal dengan sebutan "*Archimedean Screw Pumps*".

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, metode *Archimedean Screw Pumps* hanya digunakan dalam *propulsi* kapal-kapal saja. Namun demikian, metode pompa *archimedes* ini tidak hanya dapat digunakan dalam sistem *propulsi* saja, tetapi metode ini juga dapat digunakan sebagai metode pembuatan pompa air yang tidak memerlukan energi listrik atau energi fosil.

Mekanisme kerja *Archimedean Screw Pump* adalah dengan putaran ujung engkol, maka air akan naik dari daerah yang elevasinya rendah ke daerah yang elevasinya lebih tinggi.

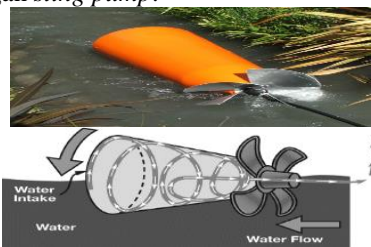
Berdasarkan prinsip kerja *Arhimedean screw pump* tersebut, perlunya sedikit modifikasi untuk memperoleh sebuah pompa yang bersifat *non* konvensional namun tidak memerlukan energi dari minyak bumi. Pemodelasian tersebut difokuskan pada penggantian ulir pipa pompa dengan

lilitan selang yang dililitkan ke rangka pompa dan penggantian poros engkol pompa dengan sebuah *propeller*. Namun demikian, pompa modifikasi ini tidak dapat lagi diaplikasikan di Danau, karena pompa ini memerlukan energi aliran untuk memutar propelernya. Dengan demikian, pompa hasil modifikasi ini hanya dapat diaplikasikan di sungai yang airnya mengalir sepanjang waktu.



Gambar 2.1. *Archimedean screw pump*
(http://www.animatedsoftware.com/Pumpglos/air_lift.htm)

Dengan adanya putaran *propeller*, maka selang sebagai pengganti ulir akan merauk air secara terus-menerus, sehingga terjadi tekanan dan laju aliran air di sepanjang lilitan selang. Akibat adanya tekanan air di dalam selang, maka air memiliki gaya dorong, sehingga air akan berpindah dari daerah yang elevasinya rendah menuju daerah yang elevasinya lebih tinggi. Pompa hasil modifikasi ini disebut dengan *sling pump*.



Gambar 2.2. *Sling pump*
(<http://www.riferam.com/sling/indek.html>.)

Dengan adanya putaran *propeller*, maka selang sebagai pengganti ulir pipa akan merauk air secara terus-menerus. Akibatnya, timbul tekanan dan laju aliran massa air di sepanjang lilitan selang sehingga air berpindah dari daerah yang elevasinya rendah menuju daerah yang elevasinya lebih tinggi. Pompa hasil modifikasi ini disebut dengan *sling pump*.

2.1. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran air didalam pipa dapat dihitung dengan terlebih dahulu menghitung debit aktual rata-rata dan luas penampangnya, yang dimana rumus debit aktual rata-rata:

$$Q = \frac{\sum Q}{n}$$

Luas penampang pipa (A) adalah:

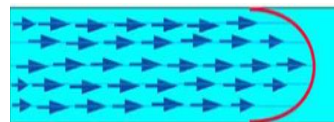
$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

Dengan demikian kecepatan aliran (v) air dapat dihitung menggunakan rumus:

$$v = \frac{Q}{A}$$

2.2 Aliran *Laminar* Dan *Turbulen*

Aliran *laminar* adalah suatu aliran fluida yang sifat alirannya cenderung stabil. Pada aliran *laminar*, partikel fluida bergerak pada lintasan yang halus (*smooth*) dan membentuk lamina-lamina atau lapisan-lapisan dimana satu lapis bergerak secara *smooth* di atas lapisan yang lain. Pengaruh viskositas akan meredam kecenderungan untuk tidak terjadinya *turbulensi* (*swirling motion*) pada aliran fluida kondisi *laminar*. Aliran *laminar* akan mengalami ketidakstabilan ketika memiliki viskositas dan kecepatan tinggi. Pada kondisi ini, aliran akan cenderung menjadi aliran *turbulen*.



Gambar 2.3. Aliran *Laminar* di dalam pipa
(www.maglevworld.wordpress.com)

Pada aliran *turbulen*, partikel fluida bergerak dalam lintasan yang tidak teratur, sehingga menyebabkan terjadinya pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Tegangan geser (τ) yang timbul pada aliran *turbulen* relatif lebih besar dari pada tegangan geser

yang terjadi pada aliran *laminar* sehingga kerugian aliran pun akan besar pula.



Gambar 2.4. Aliran *turbulent* di dalam pipa
(www.magleworld.wordpress.com)

2.3. Perhitungan *Head Loss*

Perubahan tekanan aliran air terjadi karena adanya perubahan ketinggian (z), perubahan kecepatan (v) akibat perubahan penampang (A_p), dan gesekan air terhadap dinding pipa atau penampang selubung (A_s). Perubahan tekanan aliran air di sepanjang pipa akibat gesekan terhadap dinding pipa dapat dianalisa melalui persamaan *Bernoulli* yaitu:

$$H_1 = H_2 + h_L$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

Persamaan diatas merupakan persamaan *Bernoulli* yang dimodifikasi karena adanya gesekan fluida terhadap dinding pipa. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan energi di sepanjang aliran. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan tekanan akibat gesekan atau kerugian ini digolongkan menjadi 2 macam kerugian aliran yaitu kerugian *mayor* dan kerugian *minor*.

Kerugian *mayor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada pipa lurus. Disebut "*mayor*" karena pipa lurus sebagai komponen utamanya. Sedangkan kerugian *minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi di selain pipa lurus misalnya kerugian pada katup-katup, sambungan T , sambungan L , dan sebagainya. Disebut "*minor*" karena katup-katup, sambungan T , sambungan L merupakan komponen dari pipa pendukung. Dua kerugian aliran fluida akibat gesekan di sepanjang komponen aliran ini disebut dengan *head loss*.

2.4. Perhitungan *Head Loss Mayor*

Pada aliran *laminar* nilai koefisien gesek hanya sebagai fungsi bilangan *Reynolds* saja, karena aliran *laminar* tidak dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan pipa. Namun dengan semakin tingginya bilangan *Reynolds*, maka koefisien gesekan (f) hanya sebagai fungsi dari kekasaran relatif permukaan pipa. Pada kondisi ini, rejim aliran dikatakan mencapai kekasaran penuh sehingga alirannya adalah *turbulen*.

Penurunan tekanan (P) pada aliran *turbulen* merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* (Re_d), perbandingan panjang dan diameter pipa (L/D), serta kekasaran relatif pipa (ϵ/D). *Head loss mayor* dihitung dari persamaan *Darcy-Weisbach*, yaitu:

$$h_{LMY} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

dengan,

- h_{LMY} : *Head loss mayor* (m)
- f : Koefisien gesek
- L : Panjang pipa (m)
- g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- D : Diameter dalam pipa (m)

Koefisien gesek pipa (f) dapat diketahui melalui diagram *Moody*

Perhitungan *head loss* adalah perhitungan yang cukup panjang, sehingga dalam sistem perpipaan dibutuhkan persamaan matematika untuk menentukan koefisien gesek (f) sebagai fungsi dari bilangan *Reynolds* dan kekasaran relatif.

Selain dari diagram *Moody*, koefisien gesek (f) pada pipa juga dapat dicari melalui persamaan *Blasius*. Persamaan *Blasius* ini hanya berlaku pada aliran *turbulent* pada kondisi pipa halus (*smooth pipe*) dengan bilangan *Reynolds* ($Re_d < 10^5$). Sehingga:

$$f = \frac{0,3164}{Re_d^{0,25}}$$

Perhitungan besarnya angka koefisien gesek (f) pada aliran laminar dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini:

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

Menentukan bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \times v \times d}{\mu}$$

2.5. Perhitungan Head Loss Minor

Head loss minor merupakan kerugian-kerugian aliran kecil yang dapat dihitung secara umum melalui persamaan:

$$h_{LM} = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

dengan,

- h_{LM} : Head loss minor (m)
- K : Koefisien tahanan head loss minor
- g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Pada aliran yang melewati belokan dan katup koefisien tahanan (K) merupakan fungsi dari *ratio* panjang ekuivalen komponen pipa, diameter komponen pipa (L_e/D), dan kekasaran relatif pipa (f). Besarnya kehilangan energi (*head loss minor*) yang terjadi pada komponen belokan dan katup dapat dihitung dengan rumusan seperti pada *head loss mayor* yaitu:

$$h_{LM} = f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

karena,

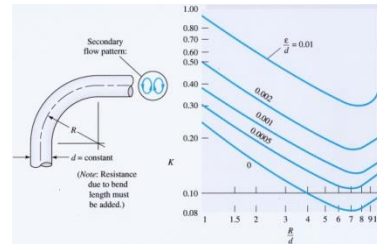
$$f \frac{L_e}{D} = K$$

dengan,

- L_e : Panjang ekuivalen dari komponen (m)
- D : Diameter komponen katup dan pipa (m)
- h_{LM} : Head loss minor (m)
- K : Koefisien tahanan
- f : Kekasaran relatif dari diagram *Moody*

Aliran fluida yang melewati belokan atau *elbow* menimbulkan *head loss* yang lebih besar dari pada aliran yang mengalami pengecilan maupun mengalami pembesaran secara mendadak. Pada aliran fluida yang melewati belokan, harga koefisien tahanan dipengaruhi oleh *radius* kelengkungan atau kurva belokan pipa. Semakin kecil *radius* kelengkungan belokan maka semakin besar koefisien tahanan belokan. Koefisien tahanan tersebut dapat

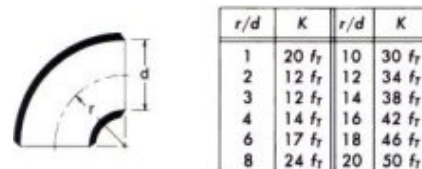
diketahui melalui grafik seperti di bawah ini yaitu:



Gambar 2.5. Koefisien tahanan (K) pada belokan pipa (*bends* 90°)

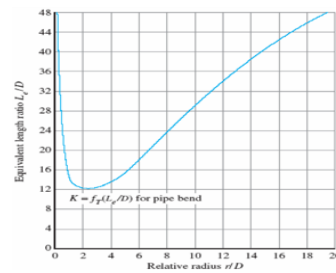
Sumber: Frank M. White, Fluid Mechanics. 4th ed. New York: McGraw-Hill

Untuk sambungan yang kelengkungannya halus, koefisien tahanan akan lebih kecil namun pembuatannya lebih sulit sehingga harganya akan lebih mahal. Pada belokan yang kelengkungannya dibentuk dari penyambungan pipa lurus yang disebut dengan *bends*, koefisien tahanan akan lebih tinggi namun proses pembuatan yang lebih muda dan harganya jauh lebih murah.



Gambar 2.6. Koefisien tahanan pada *bends* 90°
Sumber: www.cranvalve.com

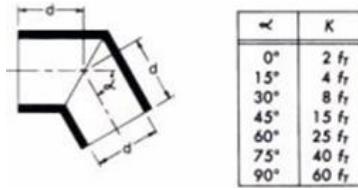
Ratio (L_e/D) untuk belokan pipa 90° dapat dicari dari grafik di bawah ini:



Gambar 2.7. Perbandingan antara panjang ekuivalen terhadap diameter dalam pipa (L_e/D) pada belokan pipa 90°

Sumber: Bij, K. H., Pressure Losses for Fluid Flow in 90°

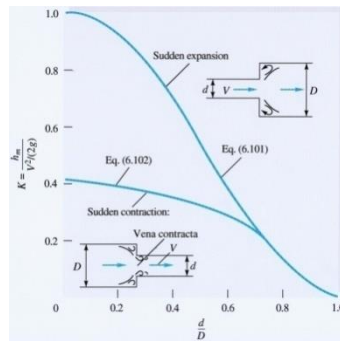
Aliran yang melewati belokan patah (*mitre bends*) koefisien tahanan *minor* (K) merupakan fungsi dari sudut belokan.



Gambar 2.8. Koefisien tahanan (K) pada belokan patah (*mitre bends*)

Sumber: www.cranevalve.com

Pada aliran yang melewati sebuah pipa mengalami pembesaran dan pengecilan penampang secara mendadak koefisien tahanan (K) merupakan *ratio* perbandingan antara diameter pipa kecil dengan diameter pipa besar.



Gambar 2.9. Grafik koefisien tahanan pada pengecilan dan pembesaran penampang secara mendadak

Sumber: Frank M. White, Fluid Mechanics, 4thed. New York: McGraw-Hill

Pada aliran yang mengalami pembesaran penampang secara mendadak (*sudden expansion*), penurunan tekanan (*minor losses*) dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$h_{LM} = K \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

dengan,

- K : Faktor tahanan *head loss minor* pada *sudden expansion*
- v_1 : Kecepatan aliran pada pipa kecil (m/s^2)
- v_2 : Kecepatan aliran pada pipa besar (m/s^2)

2.6. Head total pompa (H_{Pump})

Head total pompa merupakan jumlah dari *head* secara keseluruhan yang dibutuhkan untuk:

- Mengatasi kerugian aliran akibat gesekan-gesekan (*head loss*).
- Membangkitkan tekanan (P) yang tinggi pada sisi masuk, sehingga dapat

mengalirkan fluida dengan debit (Q) sesuai yang direncanakan.

- Mengatasi beda elevasi Δz .

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi pompa. *Head* total pompa dapat ditulis sebagai berikut:

$$H_{Pump} = \frac{\Delta P}{\gamma} + h_L + z + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g}$$

dengan,

- H_{Pump} : *Head* total pompa (m)
- z : Perbedaan ketinggian antara titik isap dan titik keluar (m)
- ΔP : Perbedaan tekanan statik (m)
- γ : Berat jenis air per satuan volume (N/m^3)
- h_L : Kerugian aliran total dimana [$h_L = h_{LMY} + h_{LM}$]
- v_2 : Kecepatan di titik isap (m/s)
- v_1 : Kecepatan di titik keluar (m/s)

2.6 Tekanan masuk (P)

Perhitungan Tekanan pada saat air masuk menggunakan rumus di bawah ini:

$$\frac{\Delta P}{\rho \times g} = hf_{total(1-3)}$$

$$\frac{P_1 - P_3}{\rho \times g} = (\sum hf_{mayor} + \sum hf_{minor})$$

Dengan,

- P_1 : Tekanan masuk
- P_3 : Tekanan atmosfer
- P : Massa jenis air
- g : Gravitasi bumi
- $\sum hf_{mayor}$: *Head loss* total mayor
- $\sum hf_{minor}$: *Head loss* total minor

3. Metodologi Penelitian

3.1 Bahan penelitian

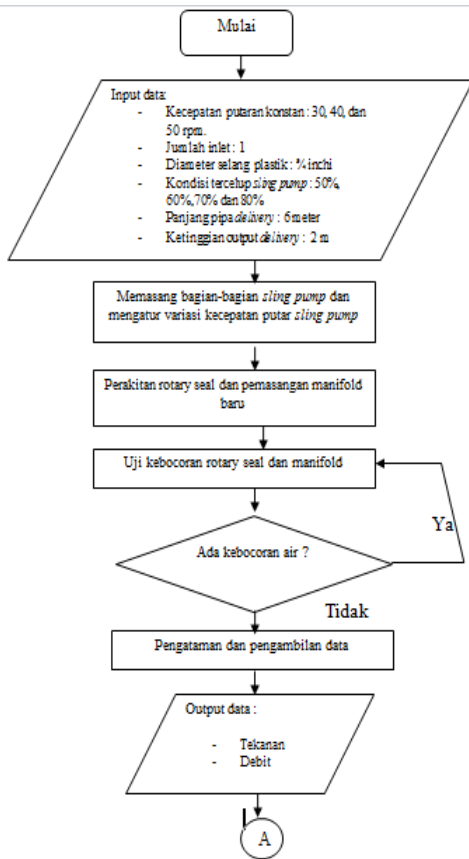
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air.

3.2 Alat penelitian



Gambar 3.1. Sling pump tipe kerucut skala laboratorium

3.2 Diagram alir penelitian



4. Pembahasan

Data hasil penelitian *sling pump* jenis kerucut:

Tabel 4.1. Data hasil pengambilan data 40, 50 rpm kondisi tercelup *sling pump* 50%, 60%, 70%, 80% dan 90%

jumlah inlet	jumlah lilitan selang	putaran (rpm)	kondisi pencelupan sling pump (%)	tekanan indikator (bar)	debit (liter/menit)	debit rata-rata
1	16	30	50	0,2	3,9	3,68
					3,55	
					3,6	
			60	0,2	3,75	3,82
					3,9	
					3,8	
			70	0,2	4	3,9
					3,8	
					3,9	
			80	0,2	3,85	3,98
					4,1	
					4	
90	0,2	3,9	3,57			
		3,4				

jumlah inlet	jumlah lilitan selang	putaran (rpm)	kondisi pencelupan sling pump (%)	tekanan indikator (bar)	debit (liter/menit)	debit rata-rata
1	16	40	50	0,4	3,1	2,83
					2,65	
					2,75	
			60	0,4	3	2,87
					2,9	
					2,7	
			70	0,4	3,25	2,95
					2,8	
					2,8	
			80	0,4	3,2	3,47
					3,7	
					3,5	
90	0,4	0	0,00			
		0				

jumlah inlet	jumlah lilitan selang	putaran (rpm)	kondisi pencelupan sling pump (%)	tekanan indikator (bar)	debit (liter/menit)	debit rata-rata
1	16	50	50	0,3	4,75	4,72
					4,4	
					5	
			60	0,3	4,55	4,48
					4,65	
					4,25	
			70	0,3	4,4	4,27
					4	
					4,4	
			80	0,4	0,4	0,73
					1	
					0,8	
90	0,4	0	0			
		0				

4.1. Hasil Olah data dan pembahasan

- Hasil perhitungan kecepatan aliran (v)

Tabel 4.2. Kecepatan air pada kecepatan putar 30, 40, 50 rpm dengan kondisi *sling pump* tercelup 50% sampai 90% di dalam air

Jumlah Inlet	Putaran (rpm)	Kondisi Tercelup Sling Pump	Kecepatan Aliran (m/s)				
			Pipa Delivery	Pipa 3/4"	Pipa 1"	Pipa Hollow Shaft 3/4"	
1	30	50	0,16	0,16	0,1	0,34	0,25
		60	0,17	0,17	0,1	0,36	0,26
		70	0,17	0,17	0,11	0,37	0,27
		80	0,17	0,17	0,11	0,37	0,28
		90	0,16	0,16	0,1	0,34	0,24
1	40	50	0,12	0,12	0,08	0,27	0,2
		60	0,13	0,13	0,08	0,27	0,2
		70	0,13	0,13	0,08	0,28	0,2
		80	0,15	0,15	0,09	0,32	0,24
		90	0	0	0	0	0
1	50	50	0,21	0,21	0,13	0,44	0,33
		60	0,2	0,2	0,12	0,43	0,31
		70	0,19	0,19	0,12	0,4	0,3
		80	0,03	0,03	0,02	0,07	0,05
		90	0	0	0	0	0

Tabel 4.3 *Head loss mayor* kecepatan putar 30, 40, 50 rpm dengan kondisi *sling pump* tercelup 50%-90% di dalam air.

Jumlah Inlet	Putaran (rpm)	Kondisi Tercelup Sling Pump (%)	Head Loss Mayor (h_f) (m)			
			Pipa Hollow Shaft	Pipa 1"	Pipa 3/4"	Pipa Delivery
1	30	50	0,0017	0,0001	0,0004	0,0129
		60	0,0019	0,0009	0,0005	0,0146
		70	0,002	0,0011	0,0005	0,0146
		80	0,002	0,0011	0,0005	0,0146
		90	0,0017	0,0010	0,0004	0,0129
1	40	50	0,0011	0,00006	0,0002	0,0073
		60	0,0011	0,00006	0,0003	0,0085
		70	0,0012	0,00006	0,0003	0,0085
		80	0,0015	0,00008	0,0003	0,0114
		90	0	0	0	0
1	50	50	0,0027	0,0002	0,0007	0,0271
		60	0,0026	0,0001	0,0007	0,0249
		70	0,0026	0,0001	0,0006	0,0228
		80	0,0001	0,00006	0,00003	0,0009
		90	0	0	0	0

• **Head Kerugian Gesek Sebagai Rugi Minor**

Tabel 4.4. Hasil perhitungan *head loss minor* pada kecepatan putar 30, 40, 50 rpm dengan kondisi pencelupan *sling pump* 50%-90%

Jumlah inlet	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Head loss minor (h_f) (m)							
			Selang	Belokan tikus lurus panjang	Belokan balok berdekatan	Penyempitan mendadak selang vs hollow shaft	Pembesaran mendadak hollow shaft vs pipa 1"	Penyempitan mendadak pipa 1" vs pipa 3/4"	Belokan pipa delivery	penyempitan mendadak pipa 3/4" vs pipa 1/2"
1	30	50	0,042	0,0003	0,0029	0,0005	0,0003	0,0002	0,00002	0,0001
		60	0,045	0,0003	0,0032	0,0006	0,0003	0,0002	0,00002	0,0001
		70	0,049	0,0004	0,0032	0,0006	0,0003	0,0002	0,00002	0,0001
		80	0,052	0,0003	0,0032	0,0006	0,0003	0,00020	0,00002	0,0001
		90	0,039	0,0003	0,0028	0,0005	0,0002	0,00021	0,00002	0,0001
1	40	50	0,027	0,0001	0,0016	0,0003	0,0001	0,0001	0,00001	0,0006
		60	0,027	0,0002	0,0019	0,0003	0,0002	0,0001	0,00001	0,0007
		70	0,027	0,0002	0,0019	0,0003	0,0002	0,0001	0,00001	0,00070
		80	0,027	0,0002	0,0025	0,0004	0,0002	0,00002	0,00002	0,0009
		90	0	0	0	0	0	0	0	0
1	50	50	0,07	0,0005	0,0049	0,0008	0,0004	0,0003	0,00004	0,0002
		60	0,085	0,0004	0,0044	0,0007	0,0003	0,0003	0,00003	0,0002
		70	0,06	0,0004	0,004	0,0006	0,0003	0,0003	0,00003	0,0001
		80	0,017	0,00001	0,0001	0,00002	0,00001	0,00007	0,000007	0,000004
		90	0	0	0	0	0	0	0	0

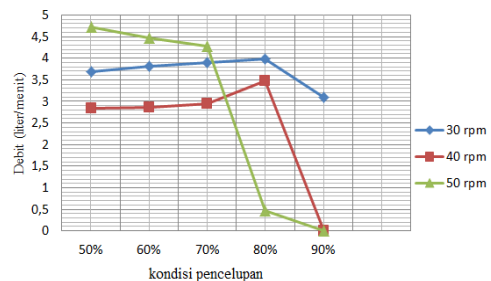
• **Perhitungan Tekanan Masuk Dan Debit Teoritis**

Tabel 4.5. Hasil perhitungan tekanan masuk, dan debit teoritis

Jumlah inlet (buah)	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup Sling pump (%)	Tekanan masuk (bar)	Tekanan indikator (bar)	Debit aktual (m ³ /s)	Debit teoritis (m ³ /s)		Efisiensi volumetrik (%)	
						Cara 1	Cara 2	Cara 1	Cara 2
1	30	50	1,066	0,2	0,00006	0,00042	0,000075	14,3	80,0
		60	1,007	0,2	0,00006	0,00042	0,000076	14,3	78,9
		70	1,007	0,2	0,00006	0,00041	0,000076	14,6	78,9
		80	1,007	0,2	0,00006	0,00042	0,000076	14,3	78,9
		90	1,005	0,2	0,00006	0,00042	0,000076	14,3	78,9
1	40	50	1,004	0,4	0,00005	0,00046	0,000100	10,9	50,0
		60	1,004	0,4	0,00005	0,00046	0,000100	10,9	50,0
		70	1,004	0,4	0,00005	0,00046	0,000100	10,9	50,0
		80	1,004	0,4	0,00005	0,00046	0,000100	10,9	50,0
		90	1	0,4	0	0	0,000100	0,0	0,0
1	50	50	1,01	0,3	0,00007	0,00050	0,000126	14,0	55,6
		60	1,009	0,3	0,00007	0,00051	0,000126	13,7	55,6
		70	1,009	0,3	0,00007	0,00050	0,000126	14,0	55,6
		80	1,0002	0,3	0,00001	0,00034	0,000127	2,9	7,9
		90	1	0,3	0	0	0,000127	0,0	0,0

• **Grafik Debit**

Hasil dari penelitian dapat digambarkan melalui grafik kondisi tercelup *sling pump* terhadap debit sling pump dengan variasi kecepatan putar seperti pada gambar di bawah ini :



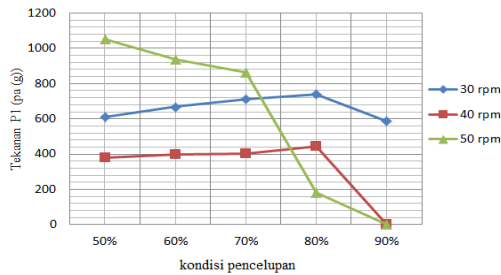
Grafik 4.1. Pengaruh kondisi pencelupan *sling pump* dan kecepatan putar terhadap debit air

Debit yang dihasilkan *sling pump* sangat berpengaruh terhadap kondisi pencelupannya. Kecepatan putar *sling pump* 30 dan 40 rpm pada kondisi pencelupan 50% - 80% debit yang dihasilkan semakin bertambah. hal ini dipengaruhi oleh semakin tinggi air corong inlet semakin banyak dalam mengambil air tersebut, sehingga debit yang keluar semakin bertambah. Namun pada kondisi pencelupan 90% terjadi penurunan yang disebabkan oleh kondisi air yang tinggi corong inlet dalam mengambil udara juga berkurang sehingga air dalam selang tidak mampu menekan ke pipa *delivery*.

Pada kecepatan putar 50 rpm debit yang keluar semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran semakin tinggi juga gaya *sentrifugalnya*, sehingga air tidak masuk pada corong inlet atau terjadi muntahan air maka debit yang dihasilkannya berkurang.

Tekanan masuk

Dari data hasil penelitian dapat digambarkan melalui grafik kondisi tercelup *sling pump* terhadap tekanan masuk *sling pump* dengan variasi kecepatan putar seperti pada gambar dibawah ini :



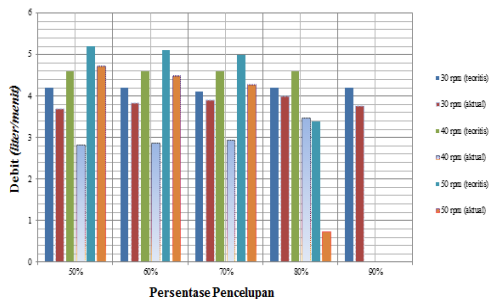
Grafik 4.2. Pengaruh kondisi pencelupan *sling pump* dan kecepatan putar terhadap tekanan masuk.

Pada 30, 40, dan 50 rpm tekanan rata-rata yang terjadi cukup besar, dapat dilihat dari Grafik 4.2. Tekanan masuk paling besar terdapat pada kecepatan 50 rpm dan tekanan masuk rata-rata paling kecil terdapat pada kecepatan putar 40 rpm. Penurunan tekanan ini dapat disebabkan udara yang masuk ke dalam lilitan selang semakin berkurang sehingga tekanan yang mengalir didalam selang menjadi rendah

Penggunaan kecepatan 50 rpm menghasilkan tekanan yang paling besar dibandingkan kecepatan 30 dan 40 rpm. Hal ini dikarenakan tingginya tekanan sisi masuk pada kecepatan 50 rpm sehingga dapat mengatasi *head loss* sepanjang aliran selang, dengan bertambahnya tekanan sisi masuk maka debit yang dihasilkan *sling pump* juga akan bertambah besar.

Debit aktual dan debit teoritis

Dari hasil perhitungan data penelitian dapat dibandingkan antara debit aktual dengan debit teoritis melalui grafik dibawah ini ;



Grafik diatas bertujuan untuk membandingkan antara debit teoritis yang diperoleh dari perhitungan dengan debit aktual yang dihasilkan pada saat pengambilan data. Dari hasil grafik tersebut terlihat lebih besar debit teoritis, hal tersebut

dikarenakan pada perhitungan menggunakan asumsi aliran satu fase dan pada kondisi yang sebenarnya adalah aliran dua fase sehingga debit teoritis lebih besar dibandingkan debit aktual.

Pada kecepatan putar 40 dan 50 rpm pada kondisi tercelup 90% air tidak mengalir pada pipa *delivery*, penyebab dari hal tersebut adalah tidak ada udara yang masuk pada lilitan selang sehingga air tidak mempunyai tekanan untuk mengalir ke pipa *delivery*. Faktor lainnya adalah kecepatan putar *sling pump* yang cepat sehingga air tidak masuk kedalam lilitan selang melainkan muntah atau balik lagi pada tampungan.

Hasil paling optimal terdapat pada kecepatan putar 50 rpm dengan kondisi pencelupan 50% yaitu 4,71 liter/menit pada debit aktual dan pada debit teoritis adalah 5,2 liter/menit.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Variasi kecepatan putar dan kondisi pencelupan berpengaruh terhadap debit yang dihasilkan. Kecepatan putar *sling pump* 30 dan 40 rpm pada kondisi pencelupan 50% - 80% debit yang dihasilkan semakin bertambah. Pada kecepatan putar 50 rpm debit yang keluar semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran semakin tinggi juga gaya *sentrifugalnya* sehingga terjadi muntahan air pada corong inlet.
2. Debit optimal yang dihasilkan *sling pump* dengan variasi kecepatan putar dan kondisi pencelupan yaitu pada kecepatan putar 50 rpm kondisi pencelupan 50% - 70%.

Saran

Penelitian yang dilakukan masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki kembali, oleh karena itu penulis menyampaikan saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut pada unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut skala laboratorium dengan variasi-variasi yang belum pernah dilakukan sebelumnya untuk

- mendapatkan debit air yang lebih optimal.
2. Perlu dilakukan modifikasi pada alat untuk menaikkan kinerja *sling pump* agar debit air yang dihasilkan dapat lebih optimal.
 3. Untuk penelitian lebih lanjut agar kebocoran lebih dapat diminimalisir, karena kebocoran akan mempengaruhi tekanan pada *sling pump* yang mengakibatkan berkurangnya debit air.

Daftar Pustaka

- Cliford, G. E., 1984, "*Heating ventilating and air conditioning*", Reston Publishing company, America
- Efendi, F.N., 2015, "*Studi eksperimental unjuk kerja sling pump jenis kerucut dengan variasi jumlah inlet dan variasi presentase pencelupan*", UMY, Yogyakarta.
- Hidayat, A.N., 2009, "*Analisis pengaruh variasi kecepatan putar terhadap debit air yang dihasilkan sling pump jenis tabung*", UMY, Yogyakarta
- King, H.W., and Brater, E.F., 1963 "*Handbook of Hydraulics*", 5th Ed, Mc. Graw-Hill, New York.
- Rahkman, F.A., 2009, "*Penelitian pengaruh variasi putaran terhadap unjuk kerja sling pump jenis tirus skala laboratorium*", UMY, Yogyakarta.
- Sularso., Kiyokatsu. S., 1997, "*Dasar perencanaan dan penelitian Elemen Mesin*", Cetakan ke-9, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sularso, Tahara. H, 2000, "*Pompa dan Kompresor*", Cetakan ke-7, Pradnya Paramita, Jakarta
- Streeter, V.L, Wylie, B.E, 1985, "*Mekanika Fluida*", Edisi delapan jilid satu, Erlangga, Jakarta.
- Syamsuddin, 2015, "*Studi Eksperimental Unjuk Kerja Sling Pump Jenis Kerucut dengan Variasi Jumlah Lilitan Selang Plastik dan Presentase Pencelupan*", UMY, Yogyakarta.
- White, F.M., 1998, "*Fluida Mechanics*". 4th ed, Mc. Graw-Hill, New York.

- http://www.animatedsoftware.com/Pumpgloss/air_lift.htm. Diakses tanggal 20-6-2015
- <http://www.maglevworld.wordpress.com/2012/05/09/aliran-laminar-dan-turbulence/>. Diakses tanggal 18-12-2015
- <http://www.riferam.com/sling/indek.html>. Diakses tanggal 20-6-2015
- http://www.citonline.com//mekanikal/Tikiview_blog_post_Image.php?ImgId=259 Diakses tanggal 20-6-2015
- <http://paarif.com/hukum-bernoulli/>, Diakses tanggal 31-12-2015