

STUDI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA *SLING PUMP* JENIS KERUCUT DENGAN VARIASI JUMLAH INLET DAN VARIASI PERSENTASE PENCELUPAN

Fahriansyah Nur Efendi

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Teknik Mesin, Yogyakarta 55138, Indonesia

Fahriansyah192@gmail.com

Abstrak

Sungai merupakan sumber energi terbarukan (*renewable energy application*). Aliran sungai sebagai energi terbarukan perlu dioptimalkan fungsinya untuk menggerakkan pompa salah satunya *sling pump*. *Sling pump* adalah pompa alternatif energi terbarukan yang konstruksinya terdiri dari lilitan selang yang melilit pada rangka. Sebagai pompa alternatif *sling pump* dengan sumber energi aliran sungai maka kemungkinan debit yang dihasilkan dari sebuah *sling pump* dapat dipengaruhi oleh banyak faktor salah satunya saluran inlet serta presentase pencelupan saluran inlet dari pompa itu sendiri. Faktor-faktor itu perlu dikaji dan diteliti lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap debit yang dihasilkan oleh sebuah *sling pump*.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menemukan pengaruh jumlah saluran inlet dan persentase pencelupan saluran inlet terhadap debit yang dihasilkan oleh sebuah *sling pump*. Penelitian ini dilakukan menggunakan selang yang digunakan adalah selang plastik dengan diameter 3/4", 4 Jumlah lilitan, Peresentasi kondisi pencelupan *sling pump* 50%, 60%, 70% dan 80%, jumlah inlet 1, 2, 3 dan 4, panjang pipa *delivery* 6 m dengan ketinggian *delivery* adalah 50 cm, perhitungan aliran menggunakan 1 fase, putaran motor konstan 40 rpm. *Sling pump* yang digunakan skala laboratorium serta penggunaan motor listrik sebagai penggerak utama yang digunakan adalah motor listrik.

Hasil pengujian diperoleh debit air yang dihasilkan oleh *sling pump* dengan variasi jumlah inlet dan persentase pancelupan sangat berpengaruh terhadap debit yang dihasilkan, Semakin meningkatnya persentasi pencelupan *sling pump* dari 50% sampai 80% menyebabkan debit air semakin meningkat. Debit air paling optimal dari hasil penelitian ini terdapat pada kondisi pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dengan jumlah 2 inlet yaitu sebesar 0,000312 m³/s.

Kata kunci : *Sling pump*, inlet, debit, persentase pancelupan

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang didominasi oleh lautan. Sungai besar dan kecil mengalir dari pegunungan, melewati pedesaan, perkotaan kemudian bermuara di lautan. Air sungai memiliki peranan penting bagi kehidupan masyarakat di pedesaan dan perkotaan. Di daerah pedesaan, air sungai digunakan sebagai air minum, sarana MCK (Mandi, Cuci, Kakus), sarana irigasi pertanian, peternakan ikan, transportasi air, dan lain-lain. Sekarang ini air sungai tidak dipergunakan sebagaimana mestinya atau digunakan tanpa memperhatikan lingkungan, seperti sebagai sarana membuang sampah, limbah pabrik dan rumah tangga,

Aliran sungai sebagai energi terbarukan yang perlu dioptimalkan

fungsinya untuk menggerakkan pompa salah satunya *sling pump*. *Sling pump* adalah pompa alternatif energi terbarukan yang konstruksinya terdiri dari lilitan selang yang melilit pada rangka. Pada bagian depan rangka tersebut terdapat komponen *propeller* yang berfungsi sebagai pengubah (konversi) energi kinetik aliran sungai menjadi energi putaran. Efek dari putaran *propeller*, menyebabkan lilitan selang merauk air terus-menerus sehingga timbul gaya tekan dan laju aliran massa air di sepanjang lilitan selang. Akibatnya, air dapat berpindah dari tempat yang elevasinya rendah ke tempat yang elevasinya lebih tinggi melalui sebuah pipa *delivery*.

Dalam perkembangannya, alat ini belum banyak dipublikasikan dan juga belum banyak digunakan. Penggunaan dan

penelitian alat ini hanya dilakukan di Amerika dan Afrika sedangkan di Indonesia penelitian *sling pump* dilakukan dengan model skala laboratorium jenis silinder (Wahyudi, 2009) dan jenis kerucut (Prabowo, 2009). *Sling pump* skala laboratorium tersebut masing-masing menggunakan 1 inlet dengan selang 3/4", 1/2", dan 5/8". Sebagai langkah pengembangan dapat dilakukan penelitian dengan variasi jumlah inlet 1, 2, 3 dan 4 dan variasi kondisi tercelup *sling pump* 50%, 60%, 70% dan 80% di dalam air dengan harapan meningkatkan unjuk kerja *sling pump*.

2. Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

Penelitian tentang *sling pump* pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya skala laboratorium tipe kerucut dan tipe tabung dengan beberapa variasi diantaranya variasi kecepatan putaran yaitu 30, 40, dan 50 rpm, variasi tinggi *delivery* yaitu 1, 2 dan 3 meter. Variasi ukuran selang yaitu 1/2", 5/8" dan 3/4", variasi jumlah lilitan yaitu 5, 6, 7 dan 8 lilitan, sedangkan variasi jumlah inlet 1, 2, 3, dan 4 inlet.

Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil pada *sling pump* tipe kerucut dengan variasi kecepatan putaran hasil optimal terjadi pada putaran 50 Rpm yaitu dengan debit 2,5 liter/menit (Rakhman, 2009). Pada variasi tinggi *delivery* hasil optimal terjadi pada ketinggian 1 meter yaitu dengan debit 4,58 liter/menit (Ginjar, 2009). Pada variasi diameter selang hasil optimal terjadi pada diameter selang 3/4" yaitu dengan debit 3,6 liter/menit (Prabowo, 2009). Pada variasi jumlah lilitan hasil optimal terjadi pada jumlah lilitan 6 yaitu dengan debit 9,37 liter/menit (Hasbullah, 2010). Sementara pada variasi 4 inlet dengan ukuran selang 3/4" hasil optimal menunjukkan pada variasi 2 inlet menghasilkan debit 8,4 liter/menit (Hariyono, 2010).

Pada *sling pump* tipe tabung dengan variasi kecepatan putaran hasil optimal terjadi pada putaran 50 Rpm yaitu dengan debit 6,41 liter/menit (Hidayat, 2009). Pada variasi tinggi *delivery* hasil optimal terjadi pada ketinggian 1 meter yaitu dengan debit 6,22 liter/menit (Sajidin, 2009). Pada variasi diameter selang hasil optimal terjadi pada diameter selang 3/4"

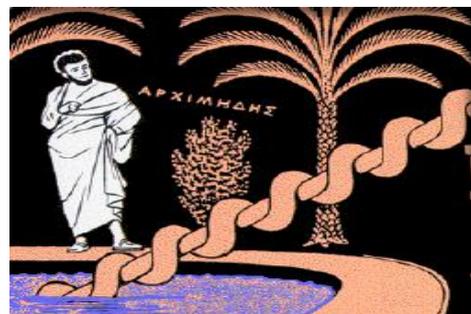
yaitu dengan debit 6,41 liter/menit (Wahyudi, 2009).

Metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya adalah memanfaatkan kecepatan putaran *sling pump*, jumlah lilitan selang dan banyaknya inlet yang digunakan. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi jumlah inlet dan kondisi pencelupan *sling pump* di dalam air, 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.



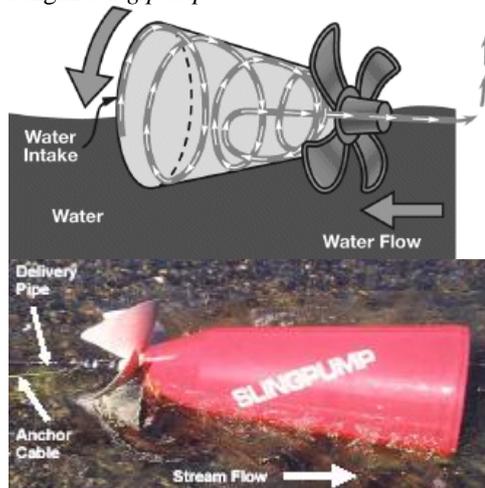
Gambar 2.1. *Arhimedeian screw pump*

Sumber: http://www.animatedsoftware.com/Pumpglos/air_lift.htm

Berdasarkan prinsip kerja *Arhimedeian screw pump* tersebut, perlunya sedikit modifikasi untuk memperoleh sebuah pompa yang bersifat *non* konvensional namun tidak memerlukan energi dari minyak

bumi. Pmodifikasian 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 hasil 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.

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 elavasinya rendah menuju daerah yabg elavasinya lebih tinggi. Pompa hasil modifikasi ini disebut dengan *sling pump*.



Gambar 2.2. *Sling pump*

Sumber: <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 elelasinya rendah menuju daerah yang elelasinya 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:

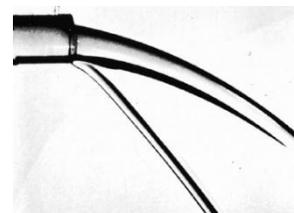
$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

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*.

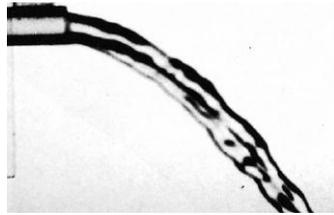


Gambar 2.3. Aliran *Laminar* keluar melalui pipa

Sumber: Frank M. White, Fluid Mechanics.

4thed. New York: McGraw-Hill, 1998.

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 aliranpun akan besar pula.



Gambar 2.4. Aliran *turbulen* keluar melalui pipa
 Sumber: Frank M. White, FluidMechanics.4thed.
 New York: McGraw-Hill, 1998.

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:

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

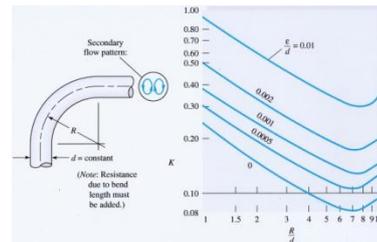
karena,

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

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*

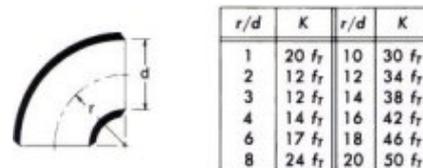
Aliran fluida yang melewati belokan atau *elbow* menimbulkan *head loss* yang lebih besar dari pada aliran yang mengalami pengecilan maupun mengalami pembesaran secara mendadak. Pada aliran fluida yang melewati belokan, harga koefisien tahanan dipengaruhi oleh *radius* kelengkungan atau kurva belokan 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°)

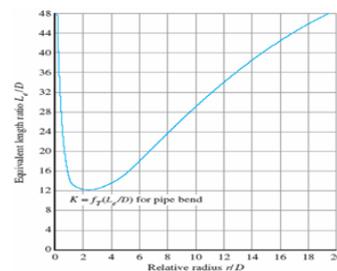
Sumber: Frank M. White, Fluid Mechanics. 4th ed. New York: McGraw-Hill

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

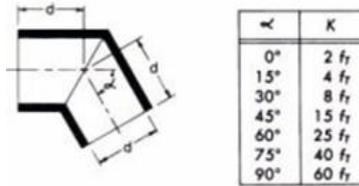
Ratio (L_e/D) untuk belokan pipa 90° dapat dicari dari grafik di bawah ini:



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°

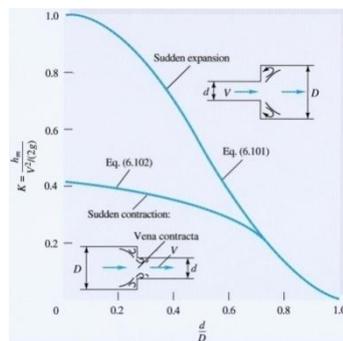
Aliran yang melewati belokan patah (*mitre bends*) koefisien tahanan *minor* (K) merupakan fungsi dari sudut belokan.



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

Sumber: www.cranvalve.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

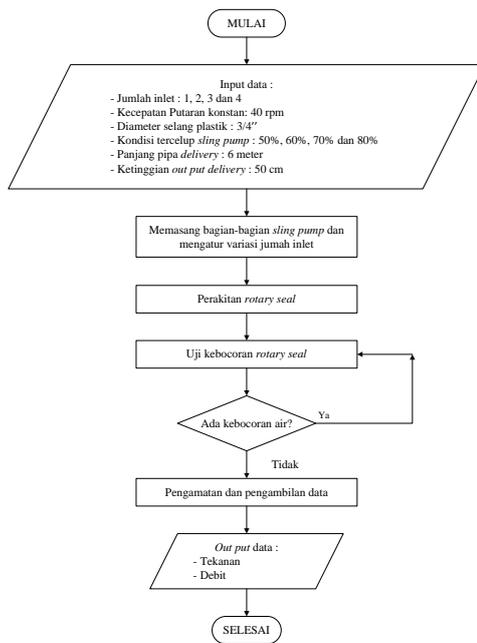
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air.

3.2 Alat penelitian



Gambar 3.1. Sling pump skala laboratorium

3.2 Diagram alir penelitian



4. Pembahasan

Data hasil penelitian *sling pump* jenis kerucut:

Tabel 4.1. Data hasil pengujian pada variasi 1 inlet, 2 inlet, 3 inlet dan 4 inlet, kondisi tercelup *sling pump* 50%, 60%, 70%, dan 80%

Jumlah inlet	Jumlah lilian selang	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Tekanan indikator (p) (bar)	Debit (Q) (liter/menit)	Debit rata-rata (Q) (liter/menit)
1	4	40	50	0,2	7,22 7,025 7,115	7,08
			60	0,2	7,135 7,09	
			70	0,2	7,20 7,210	
			80	0,2	7,775 7,61 7,725	
2	4	40	50	0,2	13,62 13,39 13,61	13,54
			60	0,2	13,63 13,75 13,83	
			70	0,2	14,22 14,48 14,88	
			80	0,2	14,88 14,86	

Jumlah inlet	Jumlah lilian selang	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Tekanan indikator (p) (bar)	Debit (Q) (liter/menit)	Debit rata-rata (Q) (liter/menit)
3	4	40	50	0,15	8,28 7,95 8,2	8,24
			60	0,15	8,35 8,88 8,28	
			70	0,15	8,8 8,85 9,15	
			80	0,15	8,95 9,21 7,45	
4	4	40	50	0,15	9,715 7,23 9,18	9,103
			60	0,15	9,23 9,3 10,13	
			70	0,15	10,18 10,13 10,39	
			80	0,15	10,4 10,176	

4.1. Hasil Olah data dan pembahasan

- Hasil perhitungan kecepatan aliran (v)

Tabel 4.2. Kecepatan air pada inlet 1, 2, 3, dan 4 dengan kondisi *sling pump* tercelup 50% sampai 80% 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	Selang 3/4"
1	40	50	0,31	0,31	0,19	0,67	0,49
		60	0,31	0,31	0,19	0,67	0,49
		70	0,32	0,32	0,20	0,68	0,50
		80	0,34	0,34	0,21	0,73	0,53
2	40	50	0,59	0,59	0,37	1,28	0,94
		60	0,60	0,60	0,37	1,30	0,95
		70	0,62	0,62	0,39	1,34	0,99
		80	0,65	0,65	0,40	1,40	1,03
3	40	50	0,36	0,36	0,22	0,78	0,57
		60	0,37	0,37	0,23	0,80	0,59
		70	0,39	0,39	0,24	0,83	0,61
		80	0,40	0,40	0,25	0,86	0,63
4	40	50	0,32	0,32	0,20	0,69	0,50
		60	0,41	0,41	0,25	0,87	0,64
		70	0,45	0,45	0,27	0,96	0,70
		80	0,46	0,46	0,28	0,98	0,72

Tabel 4.3 *Head loss mayor* pada inlet 1, 2, 3 dan 4 pada kecepatan putar 40rpm dengan kondisi *sling pump* tercelup 50%-80% di dalam air.

Jumlah Inlet	Putaran (rpm)	Kondisi Tercelup Sling Pump (%)	Head Loss Major (h) (m)			
			Pipa Hollow Shaft	Pipa 1"	Pipa 3/4"	Pipa Delivery
1	40	50	0,0077	0,00035	0,0014	0,048
		60	0,0077	0,00189	0,0014	0,048
		70	0,0080	0,00199	0,0015	0,051
		80	0,0092	0,00209	0,0017	0,067
2	40	50	0,0283	0,00136	0,0033	0,17
		60	0,0292	0,00136	0,0055	0,18
		70	0,0311	0,00151	0,0059	0,19
		80	0,0339	0,00159	0,0064	0,21
3	40	50	0,0105	0,00048	0,0019	0,065
		60	0,0110	0,00052	0,0021	0,069
		70	0,0110	0,00052	0,0021	0,069
		80	0,0119	0,00037	0,0023	0,077
4	40	50	0,0082	0,00039	0,0015	0,051
		60	0,0131	0,00062	0,0025	0,085
		70	0,0159	0,00072	0,0031	0,102
		80	0,0166	0,00078	0,0032	0,107

- Head Kerugian Gesek Sebagai Rugi Minor**

Tabel 4.4. Hasil perhitungan head loss minor pada inlet 1, 2, 3 dan 4 dengan kondisi pencelupan sling pump 50%-80%

Jumlah inlet	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Head loss minor (h) (m)							
			Selang	Belekan sila lebih panjang	Belekan balik berdekatan	Pembesaran mendadak selang vs hollow shaft	Pembesaran mendadak hollow shaft vs pipa 1"	Penyempitan mendadak pipa 1" vs pipa 3/4"	Belekan pipa delivery	penyempitan mendadak pipa 3/4" vs pipa 1/2"
1	40	50	0,15	0,0073	0,026	0,0019	0,0009	0,0008	0,02	0,00041
		60	0,15	0,0073	0,026	0,0019	0,0009	0,0008	0,02	0,00041
		70	0,15	0,012	0,028	0,0019	0,001	0,00085	0,021	0,00043
		80	0,17	0,014	0,031	0,0022	0,0011	0,00096	0,024	0,00049
2	40	50	0,46	0,027	0,099	0,007	0,0035	0,0029	0,072	0,0014
		60	0,47	0,027	0,099	0,0072	0,0039	0,0032	0,08	0,0016
		70	0,51	0,029	0,109	0,0077	0,0039	0,0032	0,08	0,0016
		80	0,56	0,032	0,118	0,0084	0,0041	0,0035	0,088	0,0018
3	40	50	0,19	0,009	0,036	0,0026	0,0012	0,001	0,027	0,00055
		60	0,21	0,01	0,039	0,0027	0,0013	0,0011	0,028	0,00058
		70	0,22	0,011	0,041	0,029	0,0014	0,0012	0,031	0,00065
		80	0,24	0,012	0,044	0,031	0,0016	0,0015	0,033	0,00068
4	40	50	0,16	0,007	0,028	0,002	0,001	0,0008	0,021	0,00043
		60	0,28	0,012	0,045	0,0032	0,0016	0,0014	0,035	0,00072
		70	0,3	0,014	0,054	0,0039	0,0018	0,0016	0,042	0,00086
		80	0,32	0,015	0,058	0,0041	0,002	0,0017	0,044	0,0009

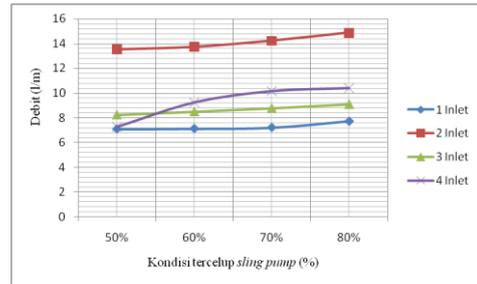
- Perhitungan Tekanan Masuk Dan Debit Teoritis**

Tabel 4.5. Hasil perhitungan tekanan masuk, dan debit teoritis

Jumlah inlet	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup Sling pump (%)	Tekanan masuk (bar)	Tekanan indikator (bar)	Debit aktual (Q) (m ³ /s)	Debit teoritis (Q) (m ³ /s)
1	40	50	0,25	0,2	0,000118	0,000139
		60	0,26	0,2	0,000119	0,000141
		70	0,27	0,2	0,000120	0,000144
		80	0,88	0,2	0,000128	0,000260
2	40	50	1,31	0,2	0,000225	0,000283
		60	1,35	0,2	0,000229	0,000288
		70	1,45	0,2	0,000237	0,000298
		80	1,58	0,2	0,000247	0,000312
3	40	50	0,72	0,15	0,000137	0,000193
		60	0,77	0,15	0,000142	0,000199
		70	0,85	0,15	0,000146	0,000209
		80	0,91	0,15	0,000152	0,000216
4	40	50	0,77	0,15	0,000120	0,000174
		60	1,2	0,15	0,000154	0,000217
		70	1,43	0,15	0,000169	0,000237
		80	1,52	0,15	0,000170	0,000245

- Grafik Debit**

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



Grafik 4.1. Pengaruh kondisi pencelupan sling pump dan jumlah inlet terhadap debit air

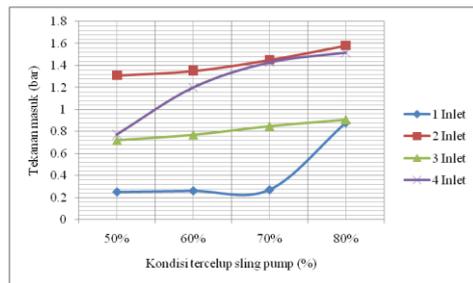
Berdasarkan grafik 4.1 diperoleh hasil bahwa debit (Q) sangat dipengaruhi oleh kondisi tercelup sling pump dan jumlah inletnya.

Kondisi tercelup sling pump sangat berpengaruh terhadap debit yang dihasilkan, Titik debit maksimum berada pada kondisi tercelup sling pump 80% di dalam air. Berdasarkan Grafik 4.1 terlihat bahwa dalam kondisi tercelup sling pump antara 50% - 80% debit air semakin meningkat.

Penggunaan 1 inlet sling pump menghasilkan debit relatif lebih kecil dibandingkan penggunaan jumlah inlet 2, 3 dan 4. Penggunaan 2 inlet menghasilkan debit yang paling optimal dibandingkan jumlah inlet 1, 3 dan 4. Hal ini dikarenakan tekanan sisi masuk pada inlet 2 lebih besar dibandingkan tekanan sisi keluar, selain itu banyaknya jumlah lilitan selang juga berpengaruh terhadap debit. Pada inlet 2 jumlah lilitan sebanyak 8 lilitan selang sehingga laju aliran air di dalam selang tidak terhambat. Faktor lainnya adalah udara yang masuk kedalam selang berbanding dengan air yang masuk kedalam selang sehingga udara yang masuk mampu mendorong air ke pipa delivery. Inlet 3 dan 4 menghasilkan debit yang saling berpotongan pada kondisi pencelupan 50% ke 60%, namun pada kondisi pencelupan 60% ke 80% jumlah 4 inlet menghasilkan debit yang relatif lebih besar dibandingkan 3 inlet.

Tekanan masuk

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



Grafik 4.2. Pengaruh kondisi pencelupan *sling pump* dan jumlah inlet terhadap tekanan masuk.

Berdasarkan Grafik 4.2 kondisi pencelupan dan jumlah inlet dapat dianalisa bahwa:

Untuk kondisi tercelup *sling pump* 50% - 80%, tekanan sisi masuk yang terjadi cukup besar seiring bertambah besar pencelupan *sling pump*. Tekanan masuk yang paling besar terjadi pada 2 inlet.

Pada jumlah inlet 1 – 4 tekanan rata-rata yang terjadi cukup besar, dapat dilihat dari Grafik 4.2. Tekanan masuk paling optimal terdapat pada 2 inlet dan tekanan masuk paling kecil terdapat pada 1 inlet. Penurunan tekanan ini dapat disebabkan jumlah lilitan yang terlalu banyak sehingga tekanan yang mengalir didalam selang menjadi rendah.

Penggunaan 2 inlet menghasilkan tekanan yang paling besar dibandingkan jumlah inlet 1, 3 dan 4. Hal ini dikarenakan tingginya tekanan sisi masuk pada 2 inlet sehingga dapat mengatasi *head loss* sepanjang aliran selang, seiring bertambah besarnya tekanan sisi masuk maka debit yang dihasilkan *sling pump* juga akan bertambah besar.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Debit air yang dihasilkan oleh *sling pump* dengan variasi jumlah inlet dan persentase pencelupan sangat berpengaruh terhadap debit yang dihasilkan. Berdasarkan Grafik 4.1 terlihat bahwa dalam kondisi tercelup *sling pump* antara 50% - 80% debit air semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah inlet dan persentase pencelupan *sling pump*.

2. Debit air paling optimal dari hasil penelitian ini terdapat pada kondisi pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dengan jumlah 2 inlet yaitu sebesar 10,39 liter/menit.

6. 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

- Haryono, 2010, “Analisa pengaruh variasi jumlah inlet dan kecepatan putar terhadap unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut skala laboratorium”, UMY, Yogyakarta.
- Prabowo, A.A., 2009, “Penelitian pengaruh variasi putaran terhadap unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut skala laboratorium”, UMY, Yogyakarta.
- Beij, K.H., “Pressure Losses for Fluida in 90 degree Pipe Bends”: Journal of research of the National Bureau of standards 21[July 1938]:1-8.
- Rahkman, F.A., 2009, “Penelitian pengaruh variasi putaran terhadap unjuk kerja *sling pump* jenis tirus skala laboratorium”, UMY, Yogyakarta.
- White, F.M., 1998, “Fluida Mechanics”. 4th ed, Mc. Graw-Hill, New York.
- Ginjar, E., 2009, “Analisa pengaruh variasi ketinggian dilevery terhadap unjuk kerja *sling pump* bentuk kerucut”, 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
- Sajani, A., 2009, “*Analisa pengaruh ketinggian dilevery terhadap debit air yang dihasilkan sling pump bentuk silinder*”, UMY, Yogyakarta.
http://www.animatedsoftware.com/Pumpgloss/air_lift.htm
<http://www.riferam.com/sling/indek.html>
<http://i-elisa.ugm.ac.id>
- Streeter, V.L, Wylne, B.E, 1985, “*Mekanika Fluida*”, Edisi delapan jilid satu, Erlangga, Jakarta.
http://www.citonline.com//mekanikal/Tikiview_blog_post_Image.php?ImgId=259
- Wahyudi, D., 2009, “*Analisis pengaruh variasi diameter selang terhadap debit yang dihasilkan pada sling pump bentuk silinder*”, UMY, Yogyakarta.
- Hasbullah, R.H., 2010, “*Studi pengaruh variasi jumlah lilitan selang plastic dan kecepatan putar terhadap unjuk kerja sling pump jenis kerucut skala laboratorium*”, UMY, Yogyakarta.
- Khurmi R.S,Ghiptu, J.K., 2002, “*Teks Book of Machine Design*”, Euarasia Publishing House, New Delhi.
- 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.