

INVESTIGASI UNJUK KERJA *SLING PUMP* JENIS KERUCUT DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN KONDISI PENCELUPAN MENGGUNAKAN *MANIFOLD* SEGARIS

Hade Eka Purnama

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

-Intisari-

Potensi energi air di Indonesia cukup besar sehingga muncul beberapa desain alat yang prinsip kerjanya dapat mengkonversi energi air menjadi energi yang lebih bermanfaat. Pemanfaatan energi aliran air dapat diperluas salah satunya dengan *sling pump*, yaitu pompa dengan konstruksi rangka silinder tabung atau kerucut. Tujuan penelitian ini yaitu mengevaluasi unjuk kerja *sling pump* dengan memvariasikan kecepatan putaran dan persentase pencelupan dan membandingkan hasil penelitian dengan penelitian yang sebelumnya.

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, selang plastik berdiameter 3/4" yang dililitkan pada rangka *sling pump*. Kecepatan putaran (rpm) *sling pump* divariasikan yaitu 30, 40, dan 50 rpm dengan persentase pencelupan *sling pump* 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% di dalam air. Setelah jumlah inlet dan persentase pencelupan ditentukan, *sling pump* diputar menggunakan motor listrik pada kecepatan konstan yang telah ditentukan yaitu 30, 40, dan 50 rpm. Panjang pipa *delivery* ditentukan 6 meter, tinggi *delivery* adalah 1 m, dan menggunakan *manifold* segaris. Data yang diperoleh adalah debit air yang keluar dan tekanan.

Berdasarkan penelitian diketahui bahwa semakin besar persentase pencelupan semakin besar pula debit yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan putaran (rpm) *sling pump* maka semakin besar debit yang dihasilkan. Debit air paling optimal diperoleh pada pencelupan 80% dengan kecepatan putaran *sling pump* 50 rpm yaitu sebesar 7,88 liter/menit.

Kata kunci : *Sling pump*, debit, persentase pencelupan, *manifold*, kecepatan putar

1. Pendahuluan

Energi memiliki peranan penting dan tidak dapat dilepaskan dalam kehidupan manusia. Saat ini hampir semua aktivitas manusia bergantung pada energi. Ada dua kelompok besar energi yang terdapat di bumi yaitu energi baru dan terbarukan serta energi fosil. Energi terbarukan memiliki sifat selalu dapat diperbaharui sedangkan energi fosil sangat terbatas keberadaannya di bumi.

Energi terbarukan yang ada di alam dan di bumi meliputi energi matahari, energi angin, energi air dan energi panas bumi. Indonesia termasuk negara yang kaya akan air. Air dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia seperti untuk irigasi, pembangkit tenaga listrik, kebutuhan air minum dan lain sebagainya.

Air yang mengalir memiliki energi potensial dan energi kinetik. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk memutar *propeller* pada *sling pump* yang merupakan salah satu aplikasi energi terbarukan dari energi air. *Sling pump* adalah sebuah pompa yang tidak menggunakan energi listrik dalam operasionalnya. Pompa ini terdiri dari lilitan selang pada sebuah

kerangka yang berbentuk baik kerucut maupun tabung. Ketika *sling pump* berputar maka air akan masuk ke dalam selang dan ikut berputar. Selanjutnya air akan keluar dari *outlet* selang.

Saat ini pengembangan *sling pump* terus dilakukan guna memperoleh kinerja yang optimal. Beberapa peneliti sebelumnya melakukan penelitian tentang *sling pump* dengan pencelupan ke air separuh dari rangkanya. Rahkman (2009) pernah meneliti *sling pump* skala laboratorium jenis kerucut yang tercelup di air sebesar 40% dari rangkanya dan kecepatan putarannya dibuat bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putaran *sling pump* maka semakin besar debit yang dihasilkan. Penelitian ini telah dikembangkan oleh Syamsuddin (2015) dengan melakukan variasi jumlah lilitan selang dan variasi pencelupan *sling pump* lebih dari 40 % sedangkan kecepatan putarannya dibuat konstan. Semakin bertambah jumlah lilitan dan persentase pencelupan maka debit yang dihasilkan juga semakin tinggi. Penelitian selanjutnya juga pernah dilakukan oleh Efendi (2015) dimana variasi yang digunakan adalah persentase pencelupan dan jumlah inlet juga

divariasikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit air paling optimal diperoleh pada persentase pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dengan jumlah 2 buah inlet. Penelitian tersebut juga pernah dikembangkan oleh Waliyadi (2015) dengan variasi tinggi *delivery* dan persentase pencelupan menggunakan *manifold* melingkar. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa debit optimal yang dihasilkan yaitu terjadi pada ketinggian 1 meter dan persentase pencelupan 70% sebesar 4,46 liter/menit.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, Tugas Akhir ini mengembangkan penelitian yang dilakukan oleh Waliyadi (2015). Pada penelitian ini kecepatan putaran *sling pump* di varisikan yaitu 30, 40, dan 50 rpm. Kecepatan putaran *sling pump* di variasikan karena pada penelitian terdahulu oleh Rahkman (2009) dan Prabowo (2009) menduga bahwa semakin besar kecepatan putaran *sling pump* maka gaya sentrifugalnya akan semakin tinggi sehingga terjadi muntahan air pada corong inlet yang mengakibatkan air tidak mengalir dan debit tidak keluar. Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan unjuk kerja (debit) *sling pump* karena debit yang dihasilkan oleh penelitian tersebut masih relatif rendah.

Tujuan dari penelitian variasi kecepatan putaran *sling pump* dan persentase pencelupan ini adalah:

1. Mengevaluasi unjuk kerja *sling pump* dengan variasi kecepatan putaran dan persentase pencelupan *sling pump* di dalam air.
2. Membandingkan debit yang dihasilkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *manifold* melingkar.

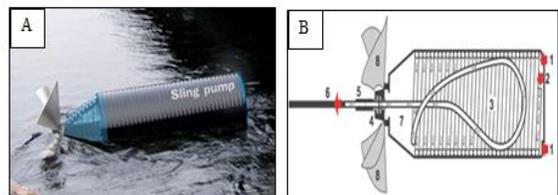
Pada penelitian ini diasumsikan bahwa air yang mengalir pada selang plastik adalah aliran satu fasa, kecepatan putarannya dianggap konstan, menggunakan *manifold* segaris, dan kebocoran yang terjadi saat pengambilan data tidak terlalu diperhatikan.

2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Archimedes memperkenalkan konsep *sling pump* pada kisaran tahun 287-212 SM. Alat ini digunakan untuk memindahkan air dari danau keseluruhan irigasi pertanian Syracuse di Sicily (Wikipedia). Ujung engkol diputar sehingga air akan naik dari ketinggian elevasi rendah ke elevasi yang

lebih tinggi. Alat ini kemudian dikenal dengan sebutan “*Archimedean Screw pumps*”.

Munurut prinsip kerja *Arhimedean screw pump*, diperlukan beberapa modifikasi untuk memperoleh suatu pompa yang bersifat *non* konvensional namun tidak memerlukan energi listrik. Modifikasi ini terfokus pada penggantian ulir pipa pompa dengan lilitan selang yang dililitkan ke rangka pompa dan penggantian poros engkol pompa dengan sebuah *propeller*. Pompa ini memerlukan energi aliran untuk memutar *propellernya*. Oleh karena itu, hasil modifikasi pompa ini hanya dapat diaplikasikan pada air yang mengalir sepanjang waktu seperti sungai.



Gambar 1.. (A) *Sling Pump*, (B) Komponen pada bagian dalam *sling pump*.

(www.jtminvest.se/slingpump.htm)

Sling pump memiliki beberapa kelebihan yaitu konstruksi *sling pump* tahan lama, perawatan mudah, dan pengoperasiannya aman. Sedangkan kekurangan *sling pump* yaitu biaya pembuatannya mahal, membutuhkan kecepatan putaran *sling pump* yang konstan dan terdapat kerugian gesek dalam selang yang dapat menghambat laju aliran air.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian *sling pump* skala laboratorium tipe kerucut dengan variasi kecepatan putaran yaitu 30, 40, dan 50 rpm. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh *sling pump* tipe kerucut dengan variasi kecepatan putaran hasil optimal terjadi pada putaran 50 rpm yaitu dengan debit 2,5 liter/menit (Rahkman, 2009). Kondisi pencelupan *sling pump* didalam air yaitu 16 cm (40%) dari diameter besar *sling pump*. Penelitian ini diduga mengakibatkan udara banyak masuk ke selang, sehingga menghambat aliran air

Efendi (2015) melakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* menggunakan jumlah variasi yaitu 1 inlet, 2 inlet, 3 inlet dan 4 inlet dengan kondisi variasi pencelupan 50% sampai 80%. Putaran *sling pump* dibuat konstan 40 rpm. Dari hasil penelitian diketahui bahwa debit terbesar diperoleh pada variasi 2 inlet dan

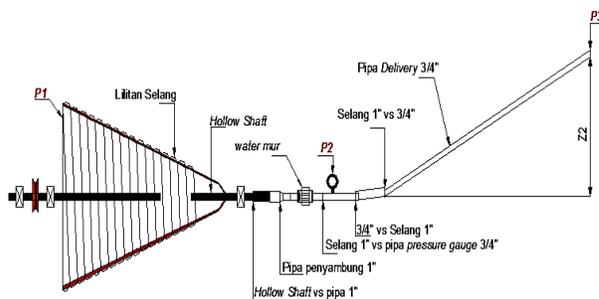
kondisi variasi pencelupan 80% menghasilkan debit 10,39 liter/menit.

Syamsuddin (2015) melakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* menggunakan variasi jumlah lilitan selang yaitu 5 lilitan, 6 lilitan, dan 7 lilitan. Diameter selang yang digunakan yaitu 3/4” dan putaran *sling pump* dibuat konstan 40 rpm. Dari hasil penelitian diketahui bahwa debit terbesar diperoleh pada 6 lilitan dengan debit 7,29 liter/menit.

Kurniawan (2015) mengembangkan penelitian *sling pump* dengan variasi kecepatan putar konstan 30, 40, dan 50 rpm dan kondisi pencelupan 50-90% serta menggunakan *manifold* melingkar. Hasil penelitiannya adalah 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. Debit optimal yang dihasilkan *sling pump* dengan variasi kecepatan putar dan kondisi pencelupan yaitu pada kecepatan putar 50 rpm kondisi pencelupan 50% - 70%.

Menurut beberapa penelitian di atas, penelitian yang berhubungan dengan variasi kecepatan putar dan kondisi pencelupan *sling pump* dengan *manifold* segaris belum dilakukan. Oleh sebab itu peneliti ingin mengetahui hasil unjuk kerjanya dan membandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memakai *manifold* melingkar.

2.1. Skema Sling Pump Skala Laboratorium



Gambar 2. Skema alat uji *sling pump* skal laboratorium

Sling pump di putar oleh motor listrik sehingga air masuk ke dalam lilitan selang. Kemudian air akan mengalir masuk ke sisi inlet pada *manifold* segaris, lalu air mengalir ke pipa *hollow shaft* menuju pipa *delivery* dengan kecepatan aliran air dan tekanan

yang berbeda. Air yang mengalir dari pipa *delivery* akan mengalir keluar lalu di tampung dengan bak penampungan pada ketinggian 1 meter.

2.2. 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

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

Maka kecepatan aliran air dapat ditentukan dengan rumus

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

Dimana:

- Q = laju aliran fluda (m³/s)
- A = luas penampang aliran (m²)
- V = kecepatan aliran fluida (m/s)

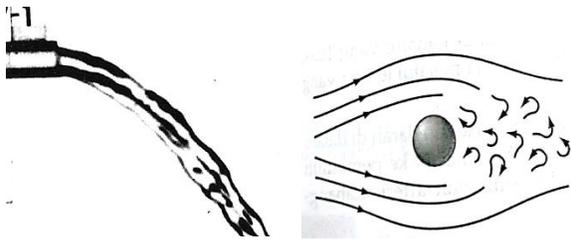
2.3. Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran *laminar* adalah suatu aliran fluida yang sifat alirannya cenderung stabil. Pada aliran *laminar*, partikel-partikel fluidanya bergerak disepanjang lintasan-lintasan lurus, sejajar dalam lapisan-lapisan atau laminar. Besarnya kecepatan-kecepatan dari laminar yang berdekatan tidak sama.



Gambar 3. Aliran *Laminar* keluar melalui pipa (Olson, 1990)

Aliran *turbulen* adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan.



Gambar 4. Aliran *turbulen* keluar melalui pipa (Olson, 1990)

2.4. Gerakan fluida dan Laju aliran

Dua jenis aliran utama pada fluida yaitu lurus (*laminar*) dan aliran *turbulen*. Untuk menentukan jenis aliran ditentukan terlebih dahulu bilangan *Reynold* dengan persamaan:

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

Dimana:

ρ : Massa Janis fluida (kg/m^3)

d : diameter dalam pipa (m)

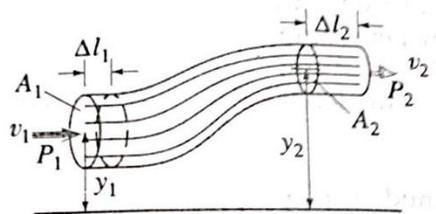
v : Kecepatan aliran rata-rata fluida (m/s)

μ : viskositas dinamik fluida (Pa.s)

Aliran akan laminar jika bilangan *Reynold* kurang dari 2300 dan akan turbulen jika bilangan *Reynold* lebih besar dari 4000. Jika bilangan *Reynold* terletak diantara 2300-4000 maka disebut aliran transisi.

2.5. Persamaan Bernoulli

Prinsip *Bernoulli* adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa jika pada suatu aliran fluida mengalami peningkatan kecepatan dan ketinggian fluida terhadap suatu referensi maka akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut.



Gambar 5. Prinsip *Bernoulli*

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

2.6. Kerugian Head (*head Losses*)

Head adalah energi mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat (1kgf) zat cair yang mengalir pada sebuah luasan penampang.

$$H_1 = H_2 + h_L$$

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

1) *Mayor Losses*

Kerugian *mayor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada pipa lurus. Disebut “mayor” karena pipa lurus sebagai komponen utamanya.

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

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)

2) *Minor Losses*

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. Berikut rugi aliran minor dirumuskan:

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

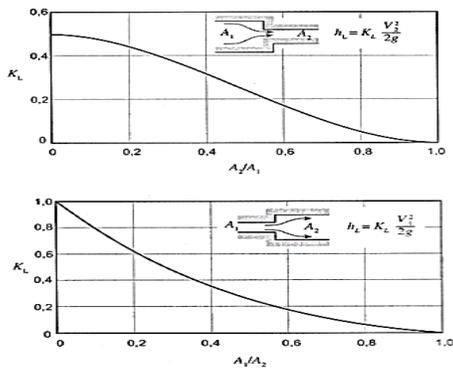
Dengan:

- h_{LM} : *Head loss minor* (m)

- K : Koefisien tahanan *head loss minor*

- g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

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



Gambar 6. Grafik koefisien tahanan pada pengecilan (A) dan pembesaran penampang secara mendadak.(B) (Munson dkk., 2003)

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)

2.7. 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. Metode penelitian

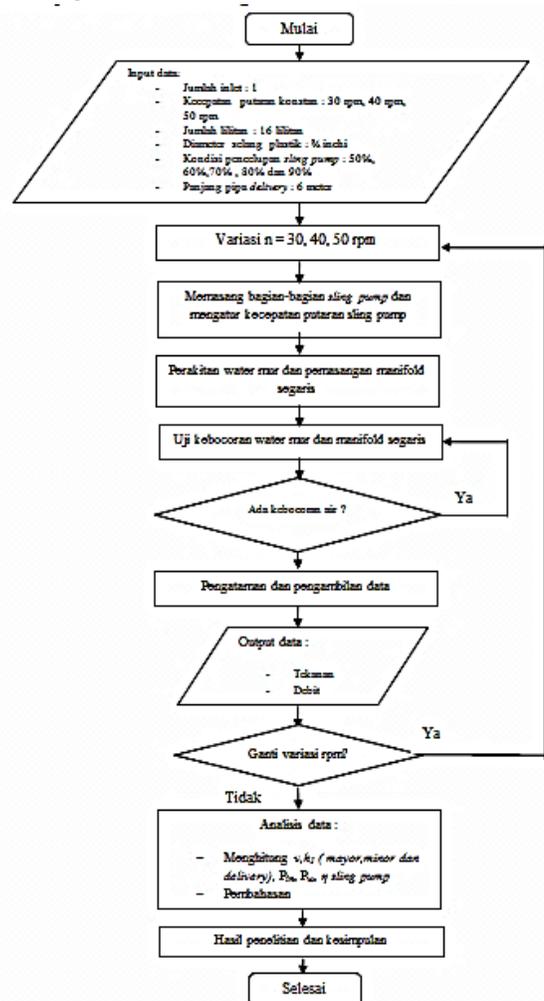
3.1. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan *sling pump* yang disimulasikan putarannya menggunakan motor listrik dengan ukuran selang plastik 3/4 inch dan bahan penelitian adalah air.



Gambar 7. Prototype *sling pump*

3.2. Diagram alir Penelitian



Gambar 8. Diagram alir pelaksanaan penelitian

4. Hasil Pengujian dan Analisa

1. Debit Aktual Pada Kecepatan Putar *Sling pump*

Tabel 1. Debit aktual untuk berbagai variasi kecepatan putar *sling pump*.

Kecepatan putar	Kondisi Tercelup	Q (m3/s)
30 rpm	50%	0,0000525
	60%	0,0000552
	70%	0,0000575
	80%	0,0000581
	90%	0,0000467
40 rpm	50%	0,0000696
	60%	0,0000783
	70%	0,0000892
	80%	0,0000964
	90%	0,0001036
50 rpm	50%	0,0000904
	60%	0,0001058
	70%	0,0001133
	80%	0,0001314
	90%	0,0001236

2. Kecepatan Aliran Air

Tabel 2. Kecepatan aliran air pada komponen *mayor*

Jumlah Inlet	Putaran (rpm)	Kondisi Tercelup Sling Pump (%)	Kecepatan Aliran (m/s) Komponen Mayor				
			Pipa Delivery	Pipa 3/4"	Pipa 1"	Pipa Hollow Shaft	Selang 3/4"
1	30	50	0,138	0,138	0,098	0,277	0,203
		60	0,145	0,145	0,104	0,292	0,214
		70	0,151	0,151	0,108	0,304	0,223
		80	0,153	0,153	0,109	0,307	0,225
		90	0,123	0,123	0,087	0,246	0,181
1	40	50	0,183	0,183	0,131	0,368	0,270
		60	0,206	0,206	0,147	0,414	0,303
		70	0,235	0,235	0,167	0,471	0,345
		80	0,254	0,254	0,181	0,509	0,373
		90	0,273	0,273	0,194	0,547	0,401
1	50	50	0,238	0,238	0,169	0,477	0,350
		60	0,279	0,279	0,198	0,559	0,410
		70	0,298	0,298	0,212	0,598	0,439
		80	0,346	0,346	0,246	0,694	0,509
		90	0,325	0,325	0,232	0,653	0,479

Pada tabel 2 diketahui bahwa air mengalami penurunan kecepatan dari lilitan selang plastik ke delivery yang sangat besar di komponen *hollow shaft*.

Tabel 3. Kecepatan aliran air pada komponen *minor*

Jumlah Inlet	Putaran (rpm)	Kecepatan Aliran (m/s) Pada Komponen Minor													
		Selang	Belokan siku lekuk panjang	Belokan baik 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	Pembesaran mendadak pipa 3/4" vs pipa 1"		Penyempitan mendadak pipa 1" vs pipa 3/4"	
					selang	hollow shaft	hollow shaft	1"	1"	3/4"		3/4"	1"	1/2"	3/4"
1	30	0,203	0,203	0,203	0,203	0,277	0,277	0,098	0,098	0,138	0,138	0,138	0,098	0,415	0,138
		0,214	0,214	0,214	0,214	0,292	0,292	0,104	0,104	0,145	0,145	0,145	0,104	0,436	0,145
		0,223	0,223	0,223	0,223	0,304	0,304	0,108	0,108	0,151	0,151	0,151	0,108	0,454	0,151
		0,225	0,225	0,225	0,225	0,307	0,307	0,109	0,109	0,153	0,153	0,153	0,109	0,459	0,153
		0,181	0,181	0,181	0,181	0,246	0,246	0,087	0,087	0,123	0,123	0,123	0,087	0,369	0,123
1	40	0,270	0,270	0,270	0,270	0,368	0,368	0,131	0,131	0,183	0,183	0,183	0,131	0,550	0,183
		0,303	0,303	0,303	0,303	0,414	0,414	0,147	0,147	0,206	0,206	0,206	0,147	0,619	0,206
		0,345	0,345	0,345	0,345	0,471	0,471	0,167	0,167	0,235	0,235	0,235	0,167	0,704	0,235
		0,373	0,373	0,373	0,373	0,509	0,509	0,181	0,181	0,254	0,254	0,254	0,181	0,761	0,254
		0,401	0,401	0,401	0,401	0,547	0,547	0,194	0,194	0,273	0,273	0,273	0,194	0,818	0,273
1	50	0,350	0,350	0,350	0,350	0,477	0,477	0,169	0,169	0,238	0,238	0,238	0,169	0,714	0,238
		0,410	0,410	0,410	0,410	0,559	0,559	0,198	0,198	0,279	0,279	0,279	0,198	0,836	0,279
		0,439	0,439	0,439	0,439	0,598	0,598	0,212	0,212	0,298	0,298	0,298	0,212	0,895	0,298
		0,509	0,509	0,509	0,509	0,694	0,694	0,246	0,246	0,346	0,346	0,346	0,246	1,038	0,346
		0,479	0,479	0,479	0,479	0,653	0,653	0,232	0,232	0,325	0,325	0,325	0,232	0,976	0,325

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada komponen penyempitan mendadak (*sudden contraction*) dan pembesaran mendadak (*sudden expansion*) pada masing-masing pipa memiliki kecepatan aliran yang berbeda. Hal ini dikarenakan semakin kecil luas penampang pada pipa maka semakin besar kecepatan aliran air pada pipa tersebut maupun sebaliknya.

3. Head loss mayor

Tabel 4. Perhitungan *Head Loss mayor*

Jumlah Inlet	Putaran (rpm)	Kondisi Tercelup Sling Pump (%)	Head Loss Mayor (h) (m)				Σh_l
			Pipa				
			Hollow Shaft	1"	3/4"	Delivery	
1	30	50	0,0014	0,000012	0,00036	0,0110	0,0128
		60	0,0015	0,000014	0,00039	0,0119	0,0138
		70	0,0016	0,000015	0,00042	0,0128	0,0149
		80	0,0017	0,000148	0,00043	0,0131	0,0153
		90	0,0011	0,000101	0,00029	0,0090	0,0105
1	40	50	0,0023	0,000201	0,00057	0,0177	0,0208
		60	0,0029	0,000245	0,00071	0,0217	0,0256
		70	0,0037	0,000305	0,00089	0,0272	0,0321
		80	0,0043	0,000350	0,00101	0,0311	0,0368
		90	0,0049	0,000395	0,00114	0,0353	0,0417
1	50	50	0,0038	0,000310	0,00090	0,0278	0,0328
		60	0,0051	0,000430	0,00119	0,0366	0,0433
		70	0,0058	0,000460	0,00133	0,0411	0,0487
		80	0,0078	0,000600	0,00173	0,0532	0,0633
		90	0,0069	0,000540	0,00155	0,0477	0,0567

4. Head loss minor

Tabel 4. Perhitungan *Head Loss* minor

Jumlah inlet	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Head loss minor (h) (m)									Σ Head loss minor
			Lilitan Selang	Belokan siku lekuk panjang	Belokan belak berdekatan	Penyempitan mendadak selang vs hollow shaft	Pembesaran mendadak hollow shaft pipa 1" vs pipa 1"	Penyempitan mendadak pipa 1" vs pipa 3/4"	Belokan pipa delivery	Pembesaran mendadak pipa 3/4" vs pipa 1"	Penyempitan mendadak pipa 1" vs pipa 3/4"	
1	30	50	0,150	0,00126	0,0046	0,000229	0,000189	0,000077	0,0085	0,000039	0,000077	0,1651
		60	0,164	0,00140	0,0051	0,000255	0,000213	0,000083	0,0094	0,000044	0,000083	0,1805
		70	0,177	0,00152	0,0056	0,000276	0,000229	0,000090	0,0101	0,000047	0,000090	0,1947
		80	0,179	0,00155	0,0057	0,000282	0,000234	0,000092	0,0104	0,000049	0,000092	0,1978
1	40	50	0,123	0,00100	0,0037	0,000181	0,000149	0,000059	0,0067	0,000031	0,000059	0,1352
		60	0,246	0,00223	0,0082	0,000405	0,000338	0,000131	0,0149	0,000071	0,000131	0,2726
		70	0,301	0,00281	0,0103	0,000513	0,000425	0,000167	0,0189	0,000089	0,000167	0,3342
		80	0,377	0,00364	0,0133	0,000663	0,000549	0,000216	0,0246	0,000115	0,000216	0,4203
1	50	50	0,432	0,00425	0,0156	0,000775	0,000645	0,000253	0,0287	0,000135	0,000253	0,4824
		60	0,491	0,00492	0,0180	0,000895	0,000740	0,000293	0,0332	0,000155	0,000293	0,5487
		70	0,576	0,00589	0,0216	0,001070	0,000884	0,000350	0,0395	0,000185	0,000350	0,6451
		80	0,748	0,00792	0,0291	0,001440	0,001191	0,000471	0,0533	0,000249	0,000471	0,8413
		90	0,671	0,00702	0,0257	0,001275	0,001059	0,000415	0,0470	0,000221	0,000415	0,7533

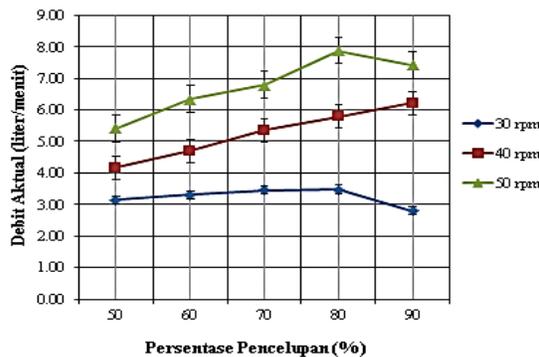
5. Tekanan masuk, debit aktual, dan debit teoritis

Tabel 5. Perhitungan tekanan masuk, debit actual, dan debit teoritis

Jumlah inlet	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Tekanan Indikator P2 (bar) (g)	Tekanan masuk P1 bar (abs)	Debit Aktual (m ³ /s)(10 ⁻⁵)	Debit Teoritis (m ³ /s)(10 ⁻⁵)
1	30	50	0,2	0,01739	5,25	63,7
		60	0,2	0,01900	5,52	65,4
		70	0,2	0,02048	5,75	66,1
		80	0,2	0,02084	5,81	66,2
1	40	50	0,2	0,02868	6,96	69,5
		60	0,2	0,03517	7,83	72,6
		70	0,2	0,04423	8,92	66,1
		80	0,2	0,05076	9,64	74,6
1	50	50	0,3	0,04538	9,04	111,8
		60	0,3	0,06003	10,58	117,3
		70	0,3	0,06783	11,33	119,8
		80	0,3	0,08844	13,14	120,7
		90	0,3	0,07919	12,36	119,8

6. Pembahasan Grafik

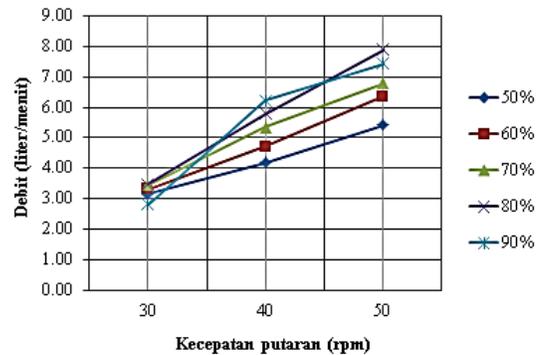
• Debit



Grafik 1. Pengaruh kondisi pencelupan dan kecepatanputaran *sling pump* terhadap debit aktual

Grafik 1 menunjukkan bahwa debit air yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya persentase pencelupan, begitu juga dengan naiknya kecepatan putar *sling pump*. Persentase pencelupan lebih besar maka debit juga semakin besar. Hal ini dikarenakan meningkatnya volume air yang masuk pada lilitan selang. Semakin tinggi kecepatan putaran *sling pump* juga menghasilkan debit yang lebih besar. Hal ini terjadi karena bertambahnya volume air dan udara yang masuk ke corong pada lilitan selang.

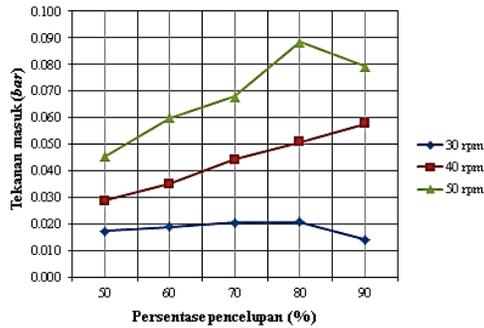
Saat putaran *sling pump* 30 rpm dan 50 rpm terjadi fenomena menurunnya debit yang dihasilkan setelah pencelupan 80%. Fenomena ini terjadi karena berkurangnya volume udara di dalam aliran fluida pada lilitan dan selang yang dimana fungsi udara ini adalah mendorong air keluar dari dalam lilitan selang menuju pipa *delivery* pada ketinggian 1 m.



Grafik 2. Perbandingan antara kecepatan putaran terhadap debit *sling pump*

Kecepatan aliran (v) di dalam pipa dapat dipengaruhi oleh perbedaan kecepatan putaran, jika kecepatan putaran bertambah, maka kecepatan aliran air juga bertambah dan debit yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini berdasarkan rumus kapasitas aliran air (debit) $Q = v \times A$, dimana volume fluida yang mengalir persatuan waktu melalui pipa dengan luas penampang A dan dengan kecepatan v. Semakin besar debit fluida yang mengalir pada sisi masuk dan sisi keluar pipa, maka semakin besar pula kecepatan fluida yang terjadi pada masing-masing sisi pipa. Hal ini sesuai dengan persamaan *kontinuitas*.

- Tekanan masuk



Grafik 3. Pengaruh kondisi pencelupan dan kecepatan putaran *sling pump* terhadap tekanan masuk

Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa semakin bertambahnya persentase pencelupan *sling pump* didalam air maka tekanan sisi masuk (P₁) juga semakin meningkat. Semakin cepat kecepatan putaran, tekanan yang terjadi pada sisi masuk (P₂) juga akan semakin besar.

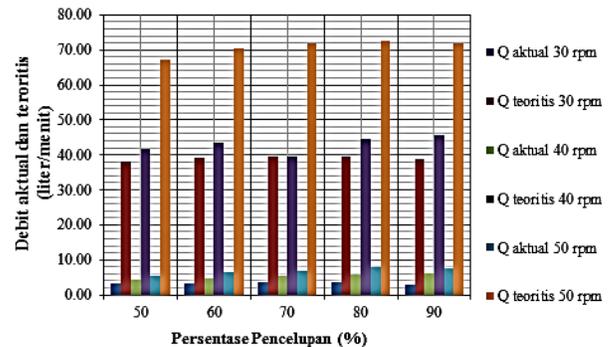
Seiring dengan meningkatnya putaran (rpm), kecepatan aliran air di dalam pipa akan semakin cepat dan *head loss* yang terjadi juga semakin besar sehingga untuk mengatasi *head loss* tekanan yang diperlukan pada sisi masuk akan semakin besar. Tekanan inlet (P₁) untuk mengalirkan air ke tempat yang lebih tinggi harus lebih besar dari pada tekanan pada sisi keluaran air (P₃), karena harus melawan gaya gravitasi dan *head loss* (Rakhman, 2009).

Kondisi tercelup *sling pump* 50% sampai 80% memiliki tekanan sisi masuk yang semakin bertambah untuk semua variasi kecepatan putaran, sedangkan pada kecepatan putaran 30 rpm dan 50 rpm terjadi penurunan tekanan sisi masuk (P₁) pada kondisi tercelup 90%. Penurunan tekanan sisi masuk (P₁) ini disebabkan karena *head loss* di sepanjang aliran juga menurun. Pada kecepatan putaran 40 rpm mengalami peningkatan tekanan sisi masuk (P₁) yang semakin bertambah hingga kondisi *sling pump* tercelup 90% didalam air. Hal ini dikarenakan penggunaan variasi kecepatan putaran 40 rpm dapat mengatasi *head loss* sepanjang aliran selang, seiring dengan bertambah besarnya tekanan sisi masuk maka debit yang dihasilkan *sling pump* juga akan bertambah besar.

Tekanan yang terjadi pada sisi masuk (P₁) berbeda dengan sisi keluar (P₃). Hal ini sesuai dengan persamaan *Bernaoulli* yang dapat dijelaskan bahwa semakin besar kecepatan fluida, maka tekanan yang

terjadi akan semakin kecil. Semakin besar debit yang dialirkan, maka semakin kecil koefisien rugi-ruginya, dikarenakan semakin besar debit maka semakin besar pula kecepatan fluida.

- Debit aktual dan teoritis

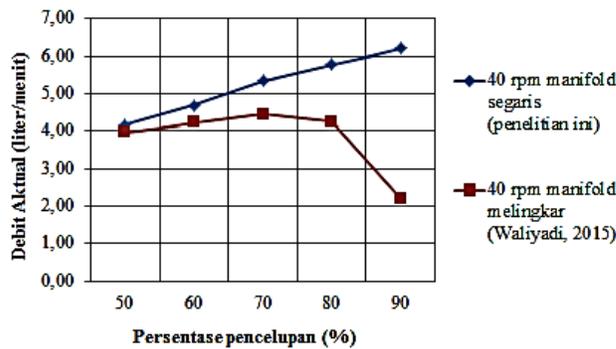


Grafik 4. Perbandingan debit aktual dan debit teoritis

Persentase pencelupan dan kecepatan aliran air pada masing-masing variasi kecepatan putaran *sling pump* berpengaruh terhadap debit aktual maupun debit teoritis.. Perhitungan debit air berdasarkan pengukuran (*Q_{aktual}*) berbeda dengan perhitungan debit air berdasarkan perhitungan rumus (*Q_{teoritis}*). Pada grafik di atas terlihat perbedaan antara debit aktual yang ternyata rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan debit teoritis. Sepanjang aliran pipa terdapat gelembung-gelembung udara, dimana gelembung udara ini akan menghambat aliran air sehingga debit aktual kecil.

Selain itu, debit aktual hanya menghitung volume air di dalam tempat penampungan dibagi dengan rata-rata waktu yang ditentukan sedangkan pada debit teoritis melibatkan kecepatan aliran, luas penampang, maupun tekanan yang menjadi indikator pengukuran debit air yang lebih kompleks sehingga hasil yang didapat lebih rendah dari debit air yang dihitung berdasarkan pengukuran (*Q_{aktual}*). Beberapa faktor yang mempengaruhi adalah kebocoran yang terdapat pada sambungan-sambungan pipa seperti *water mur* dan sambungan pipa *hollow shaft* juga menjadi penyebab menurunnya tekanan air disepanjang pipa dan putaran *sling pump* yang cepat menyebabkan air tidak masuk ke dalam liliran selang melainkan kembali keluar atau semakin tinggi putaran *sling pump* maka semakin besar pula gaya *sentrifugalnya*.

- Perbandingan dengan peneliti sebelumnya



Gambar 4.5. Perbandingan debit aktual dan persentase pencelupan pada penelitian *sling pump* dengan *manifold* segaris dan *manifold* melingkar

Sebelumnya juga dilakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* oleh Waliyadi (2015) dengan variasi tinggi delivery dan persentase pencelupan. Penelitian yang dilakukan oleh Waliyadi (2015) menggunakan *manifold* melingkar dan tinggi *delivery* 1 m, sedangkan pada penelitian ini menggunakan *manifold* segaris dan tinggi *delivery* 1 m. Berdasarkan grafik 4.6 menunjukkan perbedaan debit yang dihasilkan sangat signifikan. Penelitian *sling pump* dengan *manifold* segaris menghasilkan debit air yang besar bila dibandingkan dengan penelitian *sling pump* dengan *manifold* melingkar. Pada *manifold* segaris terjadi peningkatan debit yang semakin bertambah dari kondisi pencelupan 50%-90% sedangkan untuk *manifold* melingkar terjadi penurunan debit pada kondisi pencelupan 70%-90%. Hal ini memberi pemahaman dalam pemilihan *manifold* pada *sling pump* mengingat manfaat dari *sling pump* adalah untuk mengalirkan air dari tempat rendah ke tempat lebih tinggi. Penggunaan *manifold* segaris pada *sling pump* ternyata lebih efektif daripada *manifold* melingkar untuk ketinggian *delivery* 1 m.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Semakin besar kecepatan putaran *sling pump* maka semakin besar pula debit yang dihasilkan. Debit maksimum berada pada kondisi tercelup *sling pump* 80% di dalam air dengan kecepatan

putaran *sling pump* 50 rpm yaitu sebesar 7,88 liter/menit.

2. *Sling pump* yang menggunakan *manifold* segaris lebih efektif dibandingkan dengan *sling pump* yang menggunakan *manifold* melingkar. Pada penelitian ini debit maksimum sebesar 6,22 liter/menit, sedangkan pada penelitian Waliyadi (2015) yang menggunakan *manifold* melingkar diperoleh debit maksimum sebesar 4,46 liter/menit.

6. Saran

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

1. Perlu dilakukan modifikasi pada *manifold* untuk menaikkan kinerja *sling pump* agar debit air yang dihasilkan dapat lebih optimal.
2. 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 Publinsing company, America
- Efendi, F.N., 2015, "Studi eksperimental unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut dengan variasi jumlah inlet dan variasi presentase pencelupan", UMY, Yogyakarta.
- Giancoli, D. C. 1996. "Fisika". Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta.
- Giles, R. V., 1997, "Mekanika Fluida Dan Hidraulika", Jakarta, Erlangga
- Ginangjar, E., 2009, "Analisa pengaruh variasi ketinggian dilevery terhadap unjuk kerja *sling pump* bentuk kerucut", UMY, Yogyakarta.
- Haryono, 2010, "Analisa pengaruh variasi jumlah inlet dan kecepatan putar terhadap unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut skala laboratorium", 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.
- 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.
- Kurniawan D. E. 2015, “*Kajian Eksperimental Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Sling Pump Jenis Kerucut Dan Kondisi Pencelupan Terhadap Unjuk Kerjanya*”, UMY, Yogyakarta
- Munson, dkk., 2003, “*Mekanika Fluida*”, Edisi ke-4, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Olson, R.M. dkk. 1990. “*Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*”. Edisi Kelima. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Prabowo, A.A., 2009, “*Penelitian pengaruh variasi putaran terhadap unjuk kerja sling pump jenis kerucut skala laboratorium*”, UMY, Yogyakarta.
- R.S,Ghiptu, J.K., 2002, “*Teks Book of Machine Design*”, Eurasia Publishing House, New Delhi.
- Rahkman, F.A., 2009, “*Penelitian pengaruh variasi putaran terhadap unjuk kerja sling pump jenis tirus skala labororatorium*”, UMY, Yogyakarta.
- Ramli, M.I, Basar,M.F, dan Razik, 2013, “*Natural Energy Water Sling Pump*”. ISSN 2278-3075 volume-3. IJITEE
- Sajani, A., 2009, “*Analisa pengaruh ketinggian dilevery terhadap debit air yang dihasilkan sling pump bentuk silinder*”, UMY, Yogyakarta.
- Streeter, V.L, dkk, 1985, “*Mekanika Fluida*”, Edisi delapan jilid satu, Erlangga, Jakarta.
- Sularso, Tahara. H, 2000, “*Pompa dan Kompresor*”, Cetakan ke-7, Pradnya Paramita, Jakarta
- Sularso., Kiyokatsu. S., 1997, “*Dasar perencanaan dan penelitian Elemen Mesin*”, Cetakan ke-9, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Syamsuddin, 2015, “*Studi Eksperimental Unjuk Kerja Sling Pump Jenis Kerucut dengan Variasi Jumlah Lilitan Selang Plastik dan Presentase Pencelupan*”, UMY, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 1991. “*Mekanika Fluida dan Hidraulika*”. Jilid 1
- Wahyudi, D., 2009, “*Analisis pengaruh variasi diameter selang terhadap debit yang dihasilkan pada sling pump bentuk silinder*”, UMY, Yogyakarta.
- Waliyadi, Tri, 2015, “*Investasi Unjuk Kerja Sling Pump Tipe Kerucut Dengan Variasi Ketinggian Delivery dan Persentase Pencelupan*”, UMY, Yogyakarta.
- White, F.M., 1998, “*Fluida Mechanics*”. 4th ed, Mc. Graw-Hill, New York.
- http://www.animatedsoftware.com/Pumpglos/air_lift.htm. Diakses tanggal 20-9-2015
- http://www.citonline.com//mekanikal/Tikiview_blog_post_Image.php?ImgId=259Diakses tanggal 20-9-2015
- <http://www.jtminvest.se/slingpump.htm>.Diakses tanggal 20-9-2015
- <http://www.riferam.com/sling/indek.html>.Diakses tanggal 20-9-2015
- <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/archimedean-screw-hydro-turbine/>. Diakses 5 Desember 2015