

KAJIAN EKSPERIMENTAL *SLING PUMP* KERUCUT MENGGUNAKAN *WATER SWIVEL JOINT* SEBAGAI PENGGANTI *ROTARY SEAL* DENGAN VARIASI KETINGGIAN

Hasbi A. Dzulfornain 20120130169

Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

Intisari

Sling pump adalah sebuah pompa yang menggunakan energi kinetik dari aliran air sungai untuk memutar *Propeller* yang akan meneruskan putaran ke kerangka *sling pump*. Ketika *sling pump* berputar maka air akan masuk ke dalam selang dan ikut berputar. Selanjutnya air akan keluar dari *outlet* selang. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, menggunakan selang plastik berdiameter 3/4" yang dililitkan pada rangka *sling pump* dengan 1 inlet. Kecepatan putaran (rpm) *sling pump* yaitu 40 rpm dengan persentase pencelupan *sling pump* 80% di dalam air. Panjang pipa *delivery* 6 meter, menggunakan variasi ketinggian *delivery* adalah 1,2,3 dan 4 meter, *manifold* sejajar, dan *water swivel joint* sebagai pengganti *water mur* yang bocor. Data yang diperoleh adalah debit air yang dihasilkan sesuai dengan ketinggian *delivery*. Debit air maksimal yang dihasilkan oleh *sling pump* 7,83 liter/menit dengan ketinggian 1 meter, dan ketinggian *delivery* mampu mencapai ketinggian 4 meter dengan debit 2,03 liter/menit.

Keywords: *Sling pump* , *water swivel joint*, Ketinggian *delivery*

1. Pendahuluan

Di banyak daerah pedalaman Indonesia akses jaringan PLN masih sangat terbatas membuat pedesaan menjadi tempat yang terisolasi dan bergantung kepada pemakaian energi tradisional yang tidak bisa diandalkan. Solusi Energi Terbarukan menjadi jawaban terhadap permintaan kebutuhan pembangunan desa di Indonesia, serta solusi praktis dan berkelanjutan yang bisa langsung diadopsi oleh masyarakat pedesaan yang menjadi prioritas bagi bangsa Indonesia.

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Tenaga air adalah contoh energi terbarukan yang diperoleh dari air yang mengalir atau air terjun, air yang mengalir memiliki energi potensial dan energi kinetik. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk memutar *propeller (blade)* pada *sling pump* yang merupakan salah satu aplikasi energi terbarukan dari energi air.

2. Kajian Pustaka

Sling pump merupakan aplikasi modern dari *archimedean screw pumps*, sebuah pompa yang berbentuk kerucut dan memiliki lilitan selang didalamnya sebagai pengganti ulir akan mengalirkan air ke ujung kerucut sehingga air akan berpindah dari daerah yang elavasinya rendah menuju daerah yang elavasinya lebih tinggi (Hoffman, 2002).

Fahriansyah (2015) melakukan penelitian *sling pump* jenis kerucut berskala laboratorium dengan variasi jumlah *inlet* dan kondisi pencelupan kerangka *sling pump* di dalam air, *sling pump* menghasilkan debit optimum sebesar 10,39 liter/menit pada kondisi pencelupan 80%.

Rizky Irmansyah (2015) melakukan penelitian dengan jumlah *inlet* menggunakan lilitan selang plastik dan redesain *manifold* debit air paling optimal dari hasil penelitian ini terdapat pada jumlah lilitan 16, 1 inlet dengan ketinggian 1 meter yaitu sebesar 4,46 liter/menit.

Penelitian tentang *sling pump* dengan variasi yang sama pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Waliyadi (2016) melakukan penelitian *sling pump* dengan variasi ketinggian dan kondisi pengecelupan 80%, jumlah lilitan 16 dengan menggunakan kecepatan 40 rpm hanya menghasilkan debit air 3,46 liter/menit dengan ketinggian *delivery* 2 meter.

Peneliti menilai bahwa penyebab dari rendahnya ketinggian *delivery* dan debit yang dihasilkan karena kondisi kebocoran pada *water mur*. Bagian tersebut berfungsi menghubungkan putaran kerangka *sling pump* ke pipa *delivery* untuk mengalirkan air dari selang pada *sling pump* menuju ke bak penampung, akibat dari kebocoran *water mur* mempengaruhi kemampuan untuk mencapai tinggi *delivery* dan debit keluaran *sling pump* yang tidak maksimal. Hasil dari penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan pergantian *water mur* dengan *water swivel joint*.

Metode yang digunakan pada penelitian *sling pump* dengan variasi ketinggian *delivery* ini adalah pergantian *water mur* dengan *water swivel joint*, menggunakan kecepatan putar *sling pump* 40 rpm, jumlah lilitan selang 16, 1 *inlet* dan kondisi pengecelupan 80%, serta membandingkan hasil yang didapat oleh peneliti sebelumnya.

3. Water Swivel joint

Penggunaan *water swivel joint* merupakan komponen penting dalam industri pengeboran. *swivel* terletak pada bagian paling atas dari rangkaian pipa bor alat ini mempunyai fungsi memberikan perpaduan gerak *vertikal* dengan gerak berputar dapat bekerja bersama-sama. Gambar 1, merupakan *water swivel joint* yang digunakan pada industri pengeboran .

Penggunaan *water swivel joint* pada penelitian *sling pump* terletak diantara kerangka *sling pump* dengan pipa *delivery* , *water swivel joint* digunakan untuk perpaduan gerak kerangka *sling pump* dengan pipa diam untuk dapat

bekerja bersama-sama untuk meneruskan air menuju penampung.



Gambar 1. Water swivel joint

4. 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: (Clifford, 1984).

$$H_1 = H_2 + h_L$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2 \times g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2 \times g} + h_L$$

Persamaan diatas merupakan persamaan *Bernoulli* yang telah dimodifikasi dengan gesekan fluida yang terjadi dengan dinding pipa. Gesekan akan menimbulkan *head loss* 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*.

- Perhitungan *Head Loss Mayor*

Kerugian *mayor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada pipa lurus.

$$h_{lmy} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

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* pada Lampiran 2. 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 *turbulen* pada kondisi pipa halus (*smooth pipe*) dengan bilangan *Reynolds* ($Re_d < 10^5$), sehingga faktor kekasaran relatif adalah (Clifford, 1984).

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

Perhitungan besarnya angka kekasaran relatif (f) pada aliran *laminar* dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini (Clifford, 1984).

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

- Perhitungan *Head Loss minor*

Kerugian *minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi di selain pipa lurus misalnya kerugian pada katup-katup, sambungan *T*, sambungan *L*, dan sebagainya. *Head loss minor* merupakan kerugian-kerugian aliran kecil yang dapat dihitung secara umum melalui persamaan (Clifford, 1984).

$$h_{lm} = K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

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 (Clifford, 1984).

$$h_{lm} = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

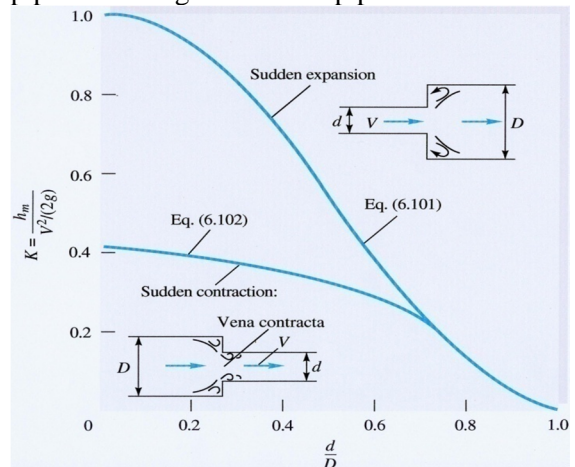
karena,

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

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*

Pada aliran yang melewati sebuah pipa mengalami pembesaran dan pengecilan penampang secara mendadak seperti Gambar 2, menunjukkan nilai koefisien tahanan (K) merupakan *ratio* perbandingan antara diameter pipa kecil dengan diameter pipa besar.



Gambar 2. Grafik koefisien tahanan pada pengecilan dan pembesaran penampang secara mendadak (White, 1998)

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

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

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)

Koefisien tahanan (K) untuk *sudden expansion* diketahui melalui analisis seperti pada persamaan (2.34) dibawah ini: (Munson dkk., 2003).

$$K = \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2 = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \right]^2$$

Dengan,

- K : Faktor tahanan *head loss minor*
- A_1 : Penampang pipa kecil (m^2)
- A_2 : Penampang pipa besar (m^2)
- D_1 : Diameter pipa kecil (m)
- D_2 : Diameter pipa besar (m)

Jika aliran air melewati sebuah pipa mengalami pengecilan penampang secara mendadak maka disebut dengan istilah *sudden contraction* Dengan persamaan kontinuitas: (Munson dkk., 2003).

$$V_0 \times C_c \times A_2 = V_2 \times A_2$$

Dimana C_c sebagai koefisien penyempitan atau kontraksi yaitu luas jet di penampang 0 dibagi luas penampang di titik 2. (Munson dkk., 2003).

$$h_c = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right) \times \frac{V_2^2}{(2 \times g)}$$

Untuk lubang masuk pipa dari reservoir. (Munson dkk., 2003).

$$h_c = K \times \frac{V_2^2}{(2 \times g)}$$

Dengan

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

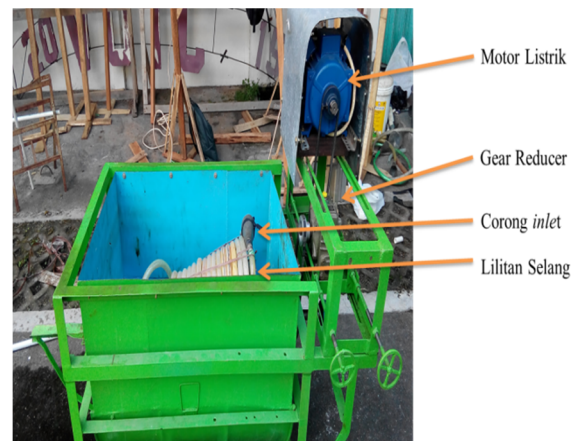
V_1 : Kecepatan aliran pada pipa kecil (m/s^2)

V_2 : Kecepatan aliran pada pipa besar (m/s^2)

C_c : koefisien penyempitan

5. Metode penelitian.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air. Air dialirkan *sling pump* melalui selang 3/4'' menuju bak penampung pada ketinggian bervariasi 1,2,3,dan 4 m menggunakan 1 *inlet* dengan kondisi pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dan kecepatan putaran konstan 40 rpm.



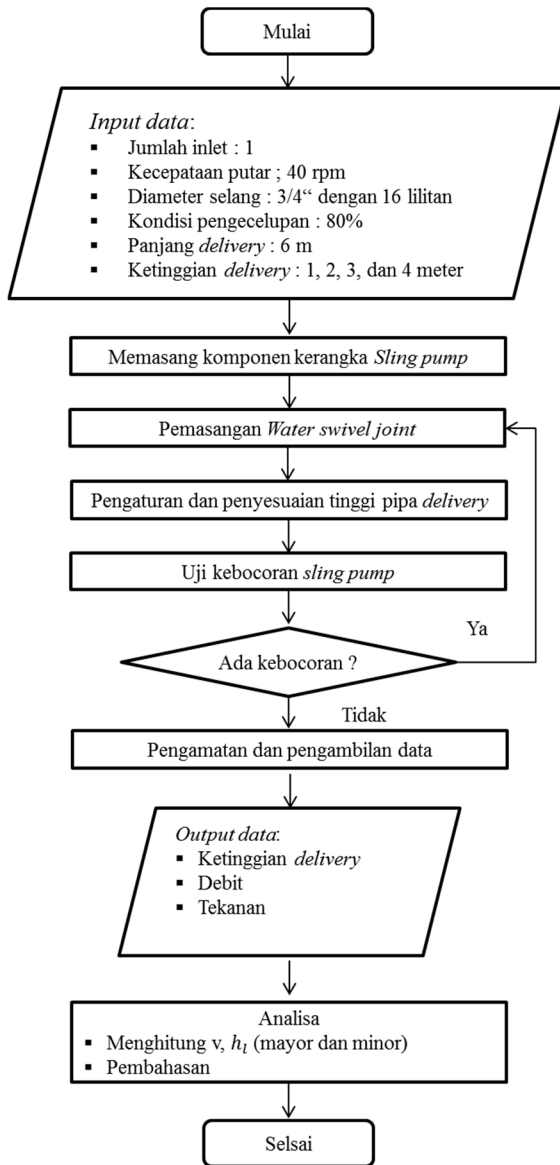
Gambar 3. Sling pump skala laboratorium.

Alat yang digunakan :

- Motor listrik
- Gear Reduser
- *Water swivel joint*
- Kerangka sling pump
- Selang
- *Manifold*
- *Check valve*
- *Pressure gauge*
- Corong inlet
- Tachometer
- *Pipa delivery*

5.1. Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Tahap Analisa Data

Dalam penganalisaan data yang akan dilakukan diantaranya:

- Menghitung nilai kecepatan aliran air (v)
- Menghitung nilai *head loss mayor sling pump* (h_l)

- Menghitung jari-jari rata-rata *sling pump* (r)
- Menghitung nilai *head loss minor sling pump* (h_l)
- Analisa debit yang dihasilkan
- Membandingkan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya

6. Hasil Penelitian.

Penelitian *sling pump* jenis kerucut variasi ketinggian *delivery* dengan menggunakan presentase pengecelupan 80%, 16 lilitan, 1 *inlet* dan putaran 40 rpm. Berikut data hasil penelitian disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian pada variasi ketinggian *delivery* 1, 2, 3 dan 4 meter.

Ketinggian <i>delivery</i> (meter)	Tekanan Indikator (bar)	Debit (Q) (liter/menit)	Debit rata-rata (liter/menit)
1	0,1	7,6	7,83
	0,1	7,8	
	0,1	8,1	
2	0,2	7,5	7,33
	0,2	6,9	
	0,2	7,6	
3	0,3	3,4	3,53
	0,3	3,6	
	0,3	3,6	
4	0,4	1,8	2,03
	0,4	2,1	
	0,4	2,2	

a. Menghitung kecepatan aliran.

Kecepatan aliran air pada selang $\frac{3}{4}$ " (v_1)

Diketahui:

$$d_1 = 0,0175 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,0175 \text{ m}$$

$$v_2 = 0,69 \text{ m/s}$$

Dihitung:

$$Q_1 = Q_2 v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Maka:

$$v_1 = \frac{v_2 \times A_2}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{v_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_2^2}{\frac{\pi}{4} \times d_1^2} = \frac{v_2 \times d_2^2}{d_1^2}$$

$$v_1 = \frac{0,69 \text{ m/s} \times (0,0175 \text{ m}^2)}{(0,0175 \text{ m})^2}$$

$$v_1 = 0,5 \text{ m/s}$$

Kecepatan aliran air pada *sling pump* variasi ketinggian *delivery* 1, 2, 3, dan 4 meter dengan kondisi *sling pump* tercelup 80% di dalam air dan kecepatan 40 rpm. Dengan menggunakan langkah yang sama seperti diatas, hasil perhitungan untuk jumlah *inlet* lainnya disajikan dalam tabel 2.

Ketinggian (m)	Kecepatan Aliran (m/s)					
	Pipa Delivery	Selang 1"	Pipa 3/4"	Pipa 1"	Pipa Hollow shaft	Selang 3/4"
1	0,34	0,25	0,33	0,2	0,69	0,5
2	0,32	0,24	0,31	0,19	0,66	0,48
3	0,15	0,11	0,14	0,08	0,27	0,19
4	0,08	0,06	0,07	0,04	0,13	0,09

b. Menghitung *Head loss mayor*

Perhitungan *head loss* pada pipa *hollow shaft*
Diketahui:

- Kecepatan aliran air dalam pipa (v) = 0,69 m/s
- Panjang selang, $L = 0,12 \text{ m}$
- Diameter dalam pipa = 0,015 m
- Suhu air = 27°C
- $\rho = 996,59 \text{ kg/m}^3$
- $\mu = 0,000852 \text{ kg/m}^3$

Dihitung:

- Bilangan *Reynolds* (Re)

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

$$Re = \frac{996,59 \text{ kg/m}^3 \times 0,69 \text{ m/s} \times 0,015 \text{ m}}{0,000852 \text{ m.s}}$$

$$Re = 12106,46$$

Ketinggian Delivery (m)	<i>Head Loss Mayor</i> (h_l) (m)				Σ <i>Head loss Mayor</i>
	Pipa Hollow Shaft	Pipa 1"	Pipa 3/4"	Pipa Delivery	
1	0,01486	0,00033	0,00564	0,08721	0,108
2	0,01366	0,00031	0,00650	0,07754	0,098
3	0,00266	0,00007	0,00132	0,02065	0,025
4	0,00082	0,00001	0,00044	0,00746	0,008

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa aliran air pada pipa *hollow shaft* adalah *turbulen* karena nilai $Re > 4000$.

- Angka kekasaran relatif (k)

Untuk pipa *galvanized iron* dari tabel angka kekasaran lampiran 4 diperoleh angka kekasaran $\epsilon = 0,15 \text{ mm}$

$$K = \frac{\epsilon}{d}$$

$$K = \frac{0,00015 \text{ m}}{0,015}$$

$$K = 0,01 \text{ m}$$

- Koefisien gesek (f)

Berdasarkan bilangan *Reynolds* dan angka kekasaran di atas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek $f = 0,04232$

- *Head* kerugian pada *hollow shaft* (h_l)

$$h_{lmy} = f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{(2 \times g)}$$

$$h_{lmy} = 0,04232 \times \frac{0,12 \text{ m}}{0,015 \text{ m}} \times \frac{(0,69 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{lmy} = 0,00821 \text{ m}$$

Head loss mayor pada *sling pump* variasi ketinggian 1, 2, 3 dan 4 meter menggunakan kecepatan putar 40 rpm dengan kondisi *sling pump* tercelup 80% di dalam air. Dengan menggunakan langkah yang sama seperti di atas, hasil perhitungan untuk ketinggian 1 meter dan lainnya disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3 *Head loss mayor* pada ketinggian *delivery* 1, 2, 3 dan 4 meter pada kecepatan putar 40 rpm dengan kondisi *sling pump* tercelup 80% di dalam air.

c. Perhitungan *Head loss minor*.

Head loss minor dengan 1 *inlet*, putaran 40 rpm kondisi *sling pump* tercelup 80% di dalam air pada ketinggian *delivery* 1 meter.

- Perhitungan rugi *minor* pada lilitan selang plastik

Diketahui:

- Kecepatan aliran = 0,5 m/s
- Diameter selang (d_i) = 3/4" = 0,0175 m
- Jari-jari rata-rata = 15,45 cm

Lilitan selang diasumsikan sebagai *elbow* 90°, dengan bilangan *Reynolds* adalah:

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

$$R = \frac{996,59 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \text{ m/s} \times 0,0175 \text{ m}}{0,000852 \text{ m.s}}$$

$$Re = 10234,93$$

Karena bilangan $Re > 4000$, maka alirannya adalah *turbulen*, sehingga dengan mengasumsikan selang adalah pipa plastik, dari

diagram *Moody* di dapat faktor nilai kekasaran (k) selang adalah:

$$k = \frac{\varepsilon}{d}$$

$$k = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,0175 \text{ m}}$$

$$k = 0,000085 \text{ m}$$

Berdasarkan bilangan *Reynolds* dan angka kekasaran (k) di atas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek, $f = 0,03083$

Dengan menggunakan grafik panjang *ekuivalen* didapat harga L_e/D adalah:

$$\frac{r}{d} = \frac{15,45 \text{ cm}}{1,75 \text{ cm}}$$

$$\frac{r}{d} = 8,85$$

Dari gambar grafik perbandingan panjang *ekuivalen* selang didapatkan harga L_e/D :

$$\frac{L_e}{D} = 25$$

Harga koefisien tahanan lilitan selang sebagai fungsi bilangan *Reynolds* yaitu:

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

$$K = 0,03 \times 25$$

$$K = 0,75$$

Harga K diatas, adalah K untuk seperempat lilitan selang. Untuk harga koefisien tahanan seluruh lilitan selang adalah sebagai berikut:

$$\sum K_{total} = K \times N \times 4$$

Dimana :

- K_{total} : Koefisien tahan seluru lilitan selang.
- K : Koefisien tahanan untuk ¼ lilitan selang.
- N : Jumlah lilitan selang pada *sling pump*.

$$\sum K_{total} = 0,75 \times 16 \times 4$$

$$\sum K_{total} = 48$$

Kerugian aliran disepanjang lilitan selang adalah:

- Perhitungan *head* kerugian pada belokan permukaan selang.

$$h_{LM} = K \times \frac{v^2}{(2 \times g)}$$

$$h_{LM} = 48 \times \frac{v^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{LM} = 0,61 \text{ m}$$

Diketahui:

Belokan diasumsikan sebagai jenis belokan siku lekuk panjang, dimana menurut tabel koefisien kerugian tinggi-tekan diperoleh nilai $K = 0,60$.

Kecepatan air, $v = 0,5 \text{ m/s}$.

Dihitung :

Head kerugian pada belokan permukaan *sling pump* (h_l)

$$h_{LM} = K \times \frac{v^2}{(2 \times g)}$$

$$h_{LM} = 0,60 \times \frac{0,5^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{LM} = 0,00764 \text{ m}$$

- Perhitungan *head* kerugian pada belokan didalam *sling pump*.

Diketahui :

Belokan diasumsikan sebagai jenis belokan balik berdekatan, dimana menurut tabel koefisien kerugian tinggi-tekan diperoleh nilai $K = 2,2$ (lampiran 3).

Kecepatan air, $v = 0,5 \text{ m/s}$

Dihitung :

Head kerugian pada belokan dalam *sling pump* (h_l)

$$h_{LM} = K \times \frac{v^2}{(2 \times g)}$$

$$h_{LM} = 2,2 \times \frac{(0,5 \text{ m/s}^2)}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{LM} = 0,0280 \text{ m}$$

- Perhitungan kerugian tinggi-tekan akibat penyempitan mendadak (*sudden contraction*) antara selang dan *hollow shaft*.

Diketahui :

Diameter selang (d_i) : $d_1 = 0,0175 \text{ m}$

Diameter *hollow shaft* (d_i) : $d_2 = 0,015 \text{ m}$

Kecepatan air pada *hollow shaft*, $v = 0,69 \text{ m/s}$

Dihitung :

Luas penampang selang (A_1)

$$A_1 = \frac{1}{4} \times \pi \times d_1^2$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,0175 \text{ m})^2$$

$$A_1 = 0,00024 \text{ m}^2$$

Luas penampang *hollow shaft* (A_2)

$$A_2 = \frac{1}{4} \times \pi \times d_2^2$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,015 \text{ m})^2$$

$$A_2 = 0,00017 \text{ m}^2$$

Koefisien penyempitan

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{0,00017 \text{ m}^2}{0,00024 \text{ m}^2}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = 0,7$$

Maka harga koefisien penyempitan (C_c) untuk air telah ditentukan oleh *Weishbach* dengan harga 0,775 .

Head kerugian pada penyempitan 1

$$h_{lm} = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \times \left(\frac{(v)^2}{(2 \times g)} \right)$$

$$h_{lm} = \left(\frac{1}{0,775} - 1 \right)^2 \times \left(\frac{(0,69 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_{lm} = 0,002045 \text{ m}$$

- Perhitungan kerugian tinggi-tekan akibat Pembesaran mendadak (*sudden expansion*) antara *hollow shaft* dan pipa 1"

Diketahui :

Diameter pipa *hollow shaft* (d_i) : $d_2 = 0,015$ m
 Diameter pipa 1" (d_i) : $d_3 = 0,028$ m
 Kecepatan air pada pipa 1 : $v = 0,2$ m/s
 Dihitung :

Head kerugian pada pembesaran penampang

$$h_{lm} = \frac{(v)^2}{(2 \times g)} \times \left(1 - \left(\frac{d_2}{d_3}\right)^2\right)^2$$

$$= \frac{(0,2 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)} \times \left(1 - \left(\frac{0,015 \text{ m}}{0,028 \text{ m}}\right)^2\right)^2$$

$$= 0,001036 \text{ m}$$

- Perhitungan kerugian belokan *delivery*

Diketahui :

Tinggi *delivery* : $z = 1$ m
 Panjang *delivery* : $L = 6,30$ m
 Dihitung :
 Sudut belokan (θ)

$$\sin \theta = \frac{z}{L}$$

Maka :

$$\sin \theta = \frac{z}{L}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{1 \text{ m}}{6,30 \text{ m}} \right)$$

$$\theta = 9,13^\circ$$

Koefisien kerugian

Berdasarkan sudut belokan di atas dan diketahui permukaan pipa halus maka kerugian gesek (f) diketahui dari tabel koefisien kerugian belokan pada (lampiran 3) sehingga diperoleh kerugian gesek: $f = 0,031$.

Kerugian belokan pada selang 1"

Kecepatan air pada selang 1" : $v = 0,25$ m/s
 Diameter selang : $d = 0,0254$ m

Kerugian belokan *delivery* (h_i)

$$h_{lm} = f \times \frac{L}{d} \times \left(\frac{v^2}{(2 \times g)} \right)$$

$$= 0,031 \times \frac{0,30 \text{ m}}{0,0254 \text{ m}} \times \left(\frac{(0,25 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$= 0,001166 \text{ m}$$

Kerugian belokan pada Pipa 3/4"

Diketahui:

Kecepatan air pada Pipa 3/4" : $v = 0,34$ m/s
 Diameter pipa : $d = 0,022$ m
 Kerugian belokan pipa *delivery* (h_i)

$$h_{lm} = f \times \frac{L}{d} \times \left(\frac{v^2}{(2 \times g)} \right)$$

$$= 0,031 \times \frac{6 \text{ m}}{0,022 \text{ m}} \times \left(\frac{(0,34 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$= 0,04981 \text{ m}$$

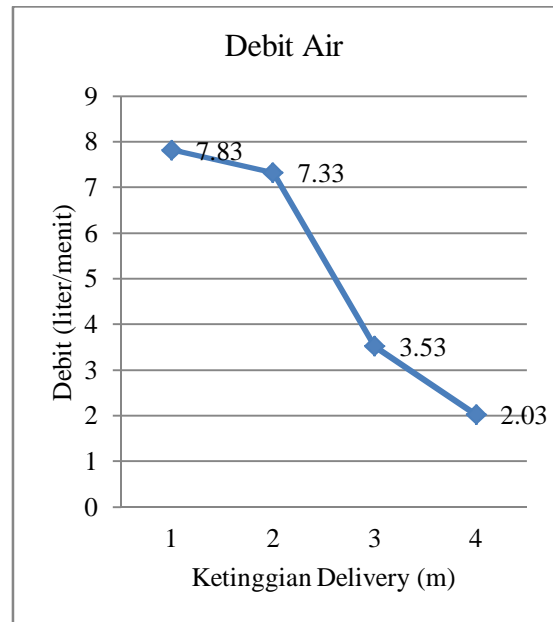
Head loss minor pada sling pump variasi ketinggian *delivery* 1, 2, 3, dan 4 meter , menggunakan kecepatan putar 40 rpm dengan kondisi *sling pump* tercelup 80% di dalam air. Dengan menggunakan langkah yang sama seperti di atas, hasil perhitungan untuk ketinggian 1 meter dan lainnya disajikan dalam tabel 4.

Ketinggian Delivery (m)	Head loss minor (h) (m)								$\Sigma Head_{loss\ minor}$	
	Selang	Belokan siku tekuk panjang	Belokan balik berdekatan	Penyempitan mendadak selang vs Hollow shaft	Pembesaran mendadak hollow shaft vs pipa 1	Penyempitan mendadak pipa 1" vs pipa 3/4"	Pembesaran Mendadak pipa 3/4" vs Selang 1"	Belokan Pipa delivery Pipa 3/4"		Penyempitan mendadak selang 1" vs pipa 3/4"
1	0,61	0,00764	0,028	0,00204	0,00103	0,0009	0,000198	0,0509	0,000496	0,701
2	0,57	0,00704	0,0258	0,00187	0,00093	0,0008	0,000183	0,0772	0,000439	0,677
3	0,11	0,0011	0,004	0,00031	0,000165	0,00016	0,000038	0,0383	0,000096	0,154
4	0,02	0,00024	0,0009	0,00007	0,00004	0,00005	0,000014	0,0181	0,000027	0,039

7. Pembahasan

a. Debit air

Hasil dari penelitian dapat digambarkan dalam grafik debit yang diperoleh berdasarkan variasi ketinggian *delivery* seperti pada grafik 1, di bawah ini:



Gambar 4.2. Grafik pengaruh ketinggian *delivery* terhadap debit air

Berdasarkan Gambar 4.2 diperoleh hasil bahwa debit (Q) sangat dipengaruhi oleh kondisi Tinggi *delivery*.

- Kondisi ketinggian *delivery* mempengaruhi debit yang dihasilkan, karena semakin tinggi pipa *delivery* maka kecepatan aliran juga akan menurun.
- Titik debit maksimum berada pada kondisi ketinggian *delivery* 1 meter yang mencapai 7,83 liter dalam 1 menit pada kondisi tersebut kecepatan aliran memiliki nilai tertinggi
- Pada penelitian ini *sling pump* dapat mencapai ketinggian maksimal 4 meter dengan debit 2,03 liter/menit

b. Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Dari penelitian ini didapatkan hasil yang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tri Waliyadi (2016) dan digambarkan melalui grafik seperti pada tabel 5, dibawah ini :

Tabel 5. Tabel perbandingan Q aktual penelitian sekarang dengan Q aktual yang dihasilkan oleh Tri Waliyadi (2016).

Ketinggian Delivery (m)	Tekanan Indikator (bar)	pencelupan <i>sling pump</i> (%)	Penelitian ini	Tri Waliyadi (2016)
			Qaktual (liter/menit)	Qaktual (liter/menit)
1	0,1	80%	7,83	4,25
2	0,2		7,33	3,46
3	0,3		3,53	-
4	0,4		2,03	-

Pada Tabel 4.5, tabel perbandingan jumlah debit yang dihasilkan dengan penelitian sebelumnya, dengan menggunakan data *input* yang sama yaitu:

- Jumlah inlet : 1 inlet
- Kecepatan putar : 40 rpm
- Jumlah lilitan : 16 lilitan
- Ukuran selang : 3/4" inch
- Pencelupan kerangka : 80%

Berdasarkan Grafik 4.3, perbandingan debit dan ketinggian dengan penelitian sebelumnya dianalisa bahwa:

- a. Untuk debit maksimal yang dihasilkan cukup jauh berbeda 7,83 liter berbanding 4,25 liter dalam 1 menit dengan ketinggian *delivery* 1 meter.
- b. Pada penelitian ini ketinggian *delivery* yang dapat dicapai hingga 4 meter

sedangkan untuk penelitian sebelumnya hanya 2 meter.

- c. Penggunaan *water swivel joint* membuat *sling pump* dapat mencapai ketinggian melebihi penelitian sebelumnya, pada penelitian sebelumnya terjadi kebocoran pada bagian tersebut.

8. Kesimpulan

Dari hasil penelitian *sling pump* variasi ketinggian *delivery* dengan menggunakan kecepatan 40 rpm dan kondisi pengecelupan 80% didalam air, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Penelitian *sling pump* variasi ketinggian *delivery* memberikan hasil tertinggi yang dicapai 4 meter dengan debit 2,03 Liter/menit.
- b. Ketinggian *delivery* mempengaruhi debit air yang dihasilkan, debit air yang dihasilkan oleh *sling pump* semakin menurun bersamaan dengan naiknya ketinggian *delivery*.
- c. Perbandingan hasil dari percobaan ini dengan percobaan sebelumnya terletak pada kemampuan *sling pump* mencapai ketinggian dan debit *output* yang lebih baik karena tidak adanya kebocoran pada *sling pump*.
- d. Penggunaan *water swivel joint* penganti komponen *water mur* yang efektif menghindari kebocoran pada *sling pump*.

9. Saran

- a. Penambahan ketinggian *tower* agar dapat melakukan pengujian lebih tinggi.
- b. Membuat *sling pump* untuk penerapan di sungai.
- c. analisa menggunakan software.

Referensi

- Antoni, D., 2012. “Efek kekasaran pipa terhadap koefisien gesek”, UI, Depok.
- Efendi, F. N., 2015. “Studi eksperimental unjuk kerja sling pump jenis kerucut dengan variasi jumlah inlet dan variasi presentase pencelupan”, UMY, Yogyakarta.
- Fahriansyah, 2015. “Studi Eksperimental unjuk kerja sling jenis kerucut berskala laboratorium dengan variasi jumlah inlet dan kondisi pencelupan kerangka Sling Pump di dalam air”, UMY, Yogyakarta.
- Fauziyah, N. A., 2012. *Dongkrak hidrolik* , www.ainifisika.blogspot.com, diakses tanggal 27/07/2016.
- Hoffman, R. D., 2002. *Sling pump* , www.riferam.com , diakses tanggal 15/4/2016.
- Irmansyah, R., 2015. “Studi Eksperimental unjuk kerja sling pump jenis kerucut dengan variasi pengecelupan dan jumlah inlet menggunakan lilitan selang plastik dan redesain manifold”, UMY, Yogyakarta.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., 2003. “*Mekanika Fluida*”, Edisi ke-4, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Olson, R .M., Wright, S. J., 1990. “*Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*”, Edisi Kelima, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Raymond, A. Serway, Robert J. Beichner, 2000. “*Physics for Scientists and Engineers*”, Erlangga, Jakarta.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., 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.
- Waliyadi, T., 2016. ” *Investigasi unjuk kerja sling pump tipe kerucut dengan variasi ketinggian delivery dan presentase pengecelupan*”, UMY, Yogyakarta.
- White, F.M., 1998. “*Fluida Mechanics*”. 4th ed, Mc. Graw-Hill, New York.

