

KAJIAN EKSPERIMENTAL *SLING PUMP* KERUCUT MENGUNAKAN *WATER SWIVEL JOINT* SEBAGAI PENGGANTI *WATER MUR* DENGAN VARIASI DIAMETER CORONG INLET

Jodi Sulastomo 20120130147

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Teknik Mesin, Yogyakarta 55138, Indonesia

jodisulastomo42@gmail.com

Abstrak

Air sungai mempunyai peranan penting bagi kehidupan manusia karena air digunakan untuk sarana perairan irigasi, air minum, mandi, dan mencuci. Air sungai dapat dimanfaatkan juga sebagai sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk menggerakkan suatu *sling pump*, yaitu pompa dengan konstruksi rangka tabung atau kerucut yang memiliki komponen propeller untuk mengkonversi aliran sungai menjadi energi putaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi unjuk kerja *sling pump* dengan memvariasikan diameter corong inlet 5cm, 6cm, dan 7 cm dan mendapatkan hasil yang optimal dengan mengganti *water mur* dari penelitian terdahulu dengan *water swivel joints*.

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium menggunakan selang plastik dengan diameter 3/4" yang dililitkan pada rangka *sling pump*. Kecepatan putar dibuat konstan 40 rpm, panjang pipa *delivery* 6 m dengan ketinggian *delivery* adalah 2 m, dan presentase pencelupan konstan 80%, Kemudian *sling pump* diputar menggunakan motor listrik. Data yang diperoleh adalah debit air yang keluar.

Hasil penelitian ini diperoleh debit air pada *sling pump* dengan variasi diameter corong inlet sebesar 6,33 liter/menit. Diketahui bahwa, penggunaan *water swivel joint* memiliki debit air lebih besar dibandingkan *sling pump* yang menggunakan *water mur* hanya memperoleh debit sebesar 3,43 liter menit. Hal ini disebabkan terjadinya kebocoran pada *water mur*.

Kata kunci: *Sling pump* , *water swivel joint*, energi terbarukan.

1. Pendahuluan

Aliran air sungai merupakan sumber energi terbarukan (*renewable energy application*).. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan adalah energi air pada aliran sungai, yang dimanfaatkan sebagai penggerak *sling pump*, yaitu 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*.

Penelitian tentang *sling pump* terus dilakukan guna memperoleh kinerja optimal. Sebelumnya unjuk kerja *sling pump* dengan menggunakan variasi diameter corong inlet *sling pump* dan variasi persentase pencelupan *sling pump* 50%, 60%, 70%, 80%, pernah diteliti oleh Akram (2016) pada pengujian ini diperoleh debit yang dihasilkan semakin bertambah pada kondisi pencelupan 80% yaitu sebesar 3,43 liter/menit.

Tugas Akhir ini mengembangkan penelitian unjuk kerja *sling pump* dengan variasi diameter corong inlet *sling pump* dan pengaruh penggunaan *water swivel joint* sebagai pengganti *rotary seal* terhadap debit yang dihasilkan. Hal ini dilakukan karena debit yang dihasilkan oleh penelitian sebelumnya masih relatif rendah. Sehingga dengan pergantian *rotary seal*

menggunakan *water swivel joint*, kecil kemungkinan terjadinya kebocoran, dan diharapkan akan meningkatkan head dan debit yang dihasilkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi unjuk kerja *sling pump* dengan pergantian *rotary seal* menggunakan *water swivel joint*.
2. Mendapatkan debit air yang optimal dengan variasi kecepatan putar terhadap penggunaan *water swivel joint*.
3. Membandingkan debit yang dihasilkan terhadap penelitian serupa yang pernah dilakukan.

2. Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

2.1. Tinjauan Pustaka

Syamsuddin (2015) melakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* menggunakan variasi jumlah lilitan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa debit terbesar diperoleh pada 6 lilitan dengan debit 7,29 liter/menit.

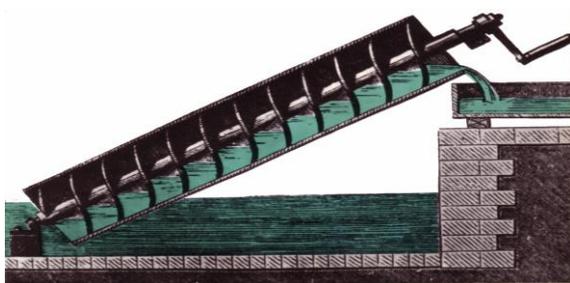
Akram (2016) pernah melakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut menggunakan variasi diameter corong inlet dan kondisi pencelupan 50-90%, serta ketinggian *delivery* 2 m. Dari hasil penelitian diketahui debit optimal terjadi pada kecepatan 40 rpm dengan kondisi pencelupan 80% yaitu sebesar 3,43 liter/menit.

Pada penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan *water mur* sebagai *rotary seal*, debit dan *Head* yang di hasilkan kurang optimal. Hal ini

disebabkan oleh kebocoran yang terjadi pada *water mur*. *Rotary seal* berfungsi menghubungkan putaran *sling pump* ke pipa *delivery* yang tidak berputar. penelitian ini menggunakan *water swivel joint* untuk mengganti penggunaan *water mur* sebagai *roraty seal*, serta mengevaluasi pengaruh kecepatan putar *sling pump* terhadap debit yang dihasilkan dan membandingkan hasil dengan penelitian sebelumnya.

2.2. Dasar Teori

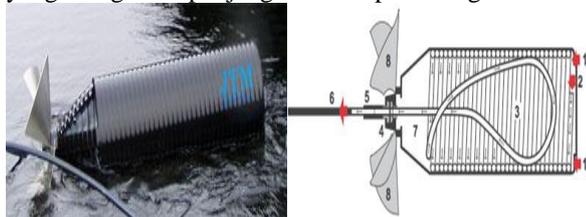
Pada kisaran tahun 287–212 SM, seorang yang bernama *Archimedes* menemukan sebuah piranti untuk memindahkan air dari danau ke saluran irigasi pertanian *Syracuse* di *Sicily*. Alat ini kemudian dikenal dengan sebutan “*Archimedean Screw Pumps*”. (Wikipedia).



Gambar 2.1. *Archimedean Screw pumps* (Oliver, 2013)

a. *Sling Pump*

Berdasarkan 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 2.2. Kerangka *sling pump* jenis kerucut

Sling pump memiliki beberapa kelebihan yaitu konstruksi *sling pump* sederhana, mudah perawatan, jumlah komponen sedikit, biaya murah, pengoperasiannya aman dan mampu beroperasi terus menerus selagi ada aliran sungai. Sedangkan kekurangan *sling pump* yaitu debit yang dihasilkan relatif kecil, debit yang dihasilkan tergantung oleh kecepatan arus sungai, dan relatif digunakan untuk head yang rendah.

b. *Water Swivel Joint*

Penggunaan *Water Swivel Joint* merupakan komponen penting dalam industry pengeboran. *Swivel* terletak pada bagian paling atas dari rangkaian pipa bor. Alat ini mempunyai fungsi sebagai berikut:

- Memberikan perpaduan gerak vertikal dengan gerak berputar dapat bekerja bersama-sama.
- Untuk meneruskan aliran lumpur dari alat yang tidak bergerak ke peralatan yang bergerak pada rangkaian pemboran.

c. 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:

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

d. Aliran *Laminar* Dan *Turbulen*

Aliran *laminar* adalah suatu aliran fluida yang sifat alirannya cenderung stabil. Aliran *laminar* akan mengalami ketidakstabilan ketika memiliki viskositas dan kecepatan tinggi. Pada kondisi ini, aliran akan cenderung menjadi aliran *turbulen*.

$$\begin{aligned} Re < 2300 &= \textit{Laminar} \\ 2300 < Re < 4000 &= \textit{Transisi} \\ Re > 4000 &= \textit{Turbulen} \end{aligned}$$

$$Re_d = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

- dengan, - v : Kecepatan aliran (m/s)
 - ρ : Massa jenis (kg/m^3)
 - μ : Viskositas dinamik ($kg/m.s$)
 - Re_d : Bilangan *Reynolds*
 - d : Diameter dalam pipa (m)

f. Persamaan Kontinuitas

Aliran fluida *internal* tak mampu mampat atau *incompressible* adalah aliran di dalam suatu garis aliran yang penampangnya berupa kurva tertutup dan massa jenis fluida sepanjang medan aliran adalah tetap (tidak berubah). Persamaan disebut dengan persamaan kontinuitas. Dalam bentuk lain persamaan kontinuitas ini dapat ditulis:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = Q$$

- dengan, - Q : Debit (m^3/s)
 - v : Kecepatan aliran (m/s^2)
 - A : Luas penampang (m^2)

g. Prinsip *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.

$$P + \rho gz + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{tetap}$$

- dengan,
- v : Kecepatan fluida (m/s)
 - g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 - z : Ketinggian relatif (m)
 - P : Tekanan fluida (Pa)

Persamaan di atas, disebut dengan persamaan *Bernoulli* yang digunakan untuk perhitungan aliran fluida ideal atau tanpa gesekan dan tak mampu mampat atau *incompressible*. Jika persamaan tersebut dikalikan dengan volum jenis (*Specific Volume*) dari suatu fluida atau zat, maka persamaan *Bernoulli* akan menjadi:

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{1}{2} v_1^2 = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{1}{2} v_2^2$$

Selanjutnya, persamaan tersebut kembali dikalikan dengan percepatan gravitasi ($1/g$), maka bentuk persamaan *Bernoulli* menjadi:

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

h. Head Loss

Head loss adalah kehilangan energi mekanik persatuan massa fluida. Sehingga satuan *head loss* adalah satuan panjang yang setara dengan satu satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan massa fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian.

Head loss dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: *Head loss* mayor dan *Head loss* minor. Kerugian major disebut juga kehilangan energi primer atau kehilangan energi akibat gesekan. Sedangkan Kerugian minor disebut kehilangan energi sekunder atau kehilangan energi akibat perubahan penampang dan aksesoris lainnya. Misalnya terjadi pada pembesaran penampang (*expansion*), pengecilan penampang (*contraction*), dan belokan atau tikungan

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 antar 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)

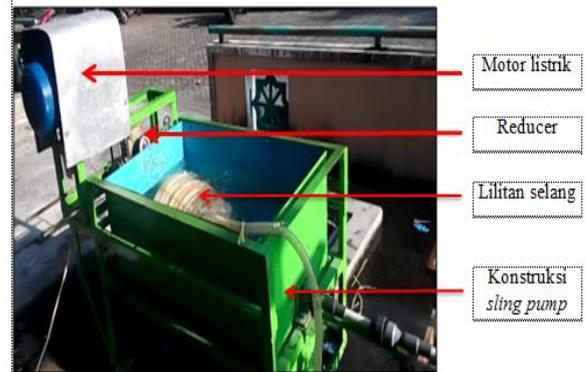
3. Metodologi Penelitian

Pada Penelitian ini dilakukan dengan Air dialirkan *sling pump* melalui selang 3/4'' menuju bak penampung dengan variasi kecepatan putar 30, 40 dan 50 rpm pada

kondisi pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dan ketinggian *delivery* 2 m.

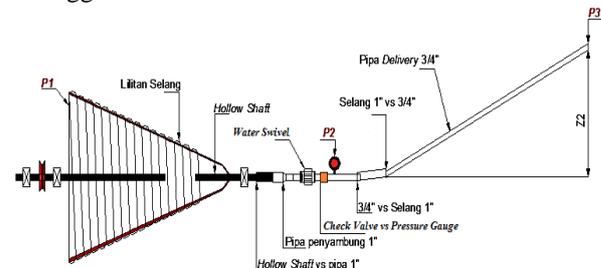
3.1 Alat Penelitian

Di bawah ini adalah gambar *sling pump* skala laboratorium sebagai alat penelitian.



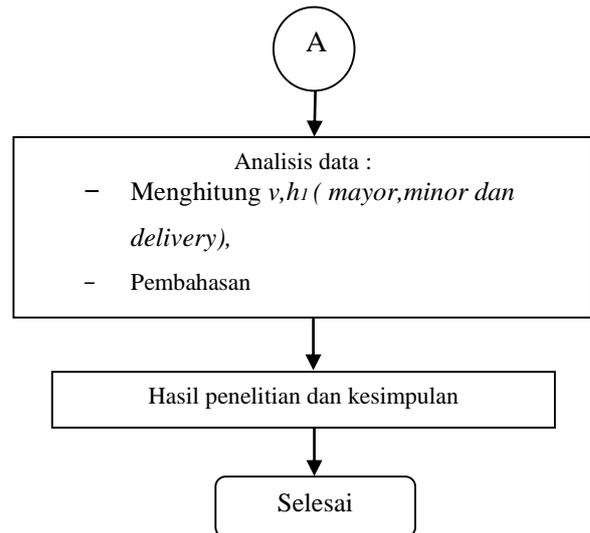
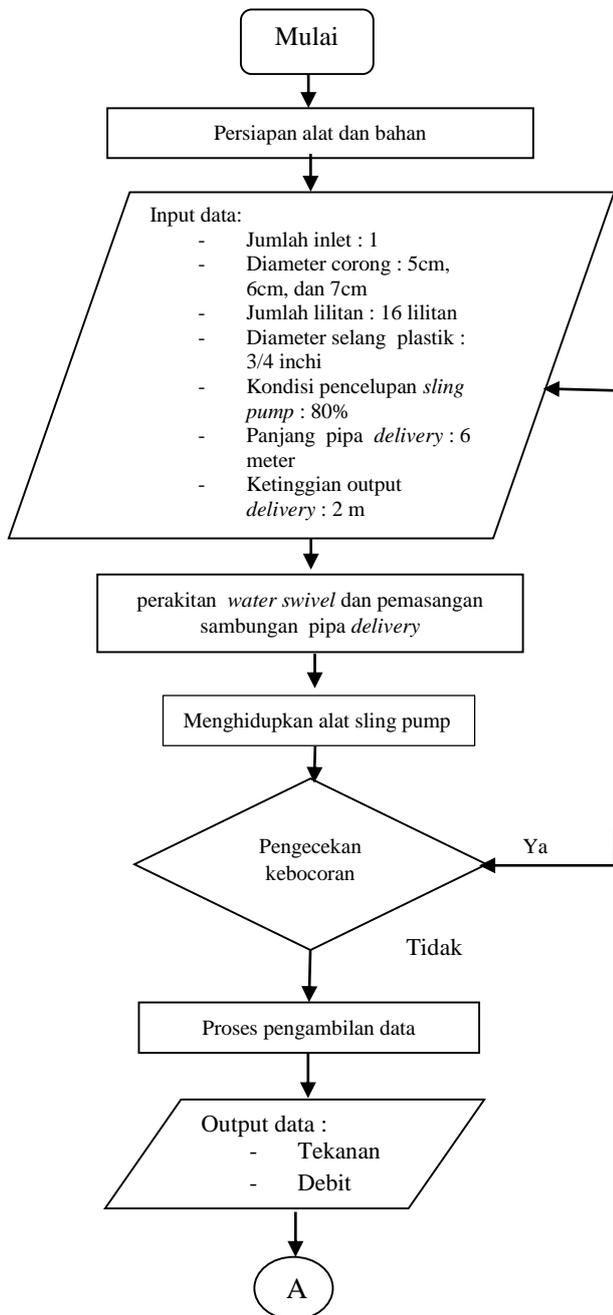
Gambar 3.1 Sling pump skala laboratorium

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 tamping dengan bak penampungan pada ketinggian 2 meter



Gambar 3.2. Skema alat uji sling pump

3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3. Diagram alir

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan pada penelitian ini meliputi:

1. Pengecekan kondisi alat-alat yang akan digunakan.
2. Mempersiapkan diameter corong 5cm, 6cm, dan 7 cm
3. Mengatur jumlah inlet dan lilitan selang yang akan digunakan
4. Mengisi air pengujian kedalam bak penampung dengan variasi kondisi pencelupan 80%.
5. Pengoprasian alat.

Air dialirkan *sling pump* melalui selang 3/4'' menuju ke bak penampung pada ketinggian 2 m menggunakan variasi diameter corong inlet 5cm, 6cm, dan 7cm dengan kondisi pencelupan *sling pump* 80% di dalam air.

3.3.2. Tahap Pengambilan Data

Tahapan pengambilan data dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui tekanan dan debit yang dihasilkan *sling pump* menggunakan variasi diameter corong inlet 5cm, 6cm, dan 7cm. dengan pencelupan 80% dan ketinggian *delivery* 2 m.

3.4.3 Tahap Analisa Data

Dalam penganalisaan data yang akan dilakukan diantaranya:

1. Menghitung nilai kecepatan aliran air (v).
2. Menghitung nilai *head loss mayor sling pump* ($h_{L,mayor}$). dan *head loss minor sling pump* ($h_{L,minor}$).
3. Plot kondisi pencelupan *sling pump* vs debit aktual.
4. Perbandingan grafik dengan peneliti sebelumnya.
5. Pembahasan.

4.1 Hasil Pengambilan Data

Data hasil penelitian sling pump skala laboratorium dengan pergantian rotary seal dengan water swivel joint disajikan seperti pada Tabel berikut.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian sling pump variasi diameter corong inlet 5cm, 6cm, dan 7cm. Pada ketinggian delivery 2 meter.

Diameter corong inlet (cm)	Jumlah inlet (buah)	Jumlah lilitan (buah)	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump	Tekanan Indikator (P) bar	Debit (Q) liter/menit	Debit rata-rata (Q) liter/menit
5	1	16	40	80%	0,2	3,6	3,50
						3,4	
						3,5	
6	1	16	40	80%	0,2	5,9	5,78
						5,75	
						5,7	
7	1	16	40	80%	0,3	6,4	6,33
						6,4	
						6,2	

4.2. Perhitungan Kecepatan Aliran

Perhitungan kecepatan aliran air pada diameter corong inlet 7 cm dengan kecepatan putar 40 rpm dan kondisi tercelup 80%.

4.21 Perhitungan kecepatan aliran air pada komponen *mayor* dengan kecepatan putaran 40 rpm dan kondisi tercelup 80%.

Debit aktual rata-rata

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

$$Q = \frac{6,4l/menit + 6,4l/menit + 6,2l/menit}{3}$$

$$Q = 6,33l/menit = 0,1055 dm^3/s$$

$$= 1,055 \times 10^{-4} m^3/s$$

a. Kecepatan aliran air pada pipa *delivery* ($v_{my,4}$)

Diketahui:

- Diameter dalam pipa $d_4 = \frac{3}{4}$ "
 $= 2,2 \text{ cm} = 0,022 \text{ m}$

Dihitung:

Kecepatan aliran air

$$v_{my,4} = \frac{4 \times Q_{aktual}}{\pi \times (D_{i,my,4})^2}$$

$$v_{my,4} = \frac{4 \times 1,055 \times 10^{-4} m^3/s}{3,14 \times 0,022^2}$$

$$v_{my,4} = 0,27 m/s$$

b. Kecepatan aliran air pada pipa 1" ($v_{my,3}$)

Diketahui:

- Diameter dalam pipa $d_3 = 1$ "
 $= 2,8 \text{ cm} = 0,028 \text{ m}$

Dihitung:

$$v_{m,y,3} = \frac{4 \times Q_{aktual}}{\pi \times (D_{i,m,y,3})^2}$$

$$v_{m,y,3} = \frac{4 \times 1,055 \times 10^{-4} m^3 / s}{3,14 \times 0,028^2}$$

$$v_{m,y,3} = 0,17 m / s$$

- c. Kecepatan aliran air pada *hollow shaft* (v_2)

Diketahui:

- Diameter dalam pipa *hollow shaft*, $d_2 = 1,6 \text{ cm} = 0,016 \text{ m}$

Dihitung:

$$v_{m,y,2} = \frac{4 \times Q_{aktual}}{\pi \times (D_{i,m,y,2})^2}$$

$$v_{m,y,2} = \frac{4 \times 1,055 \times 10^{-4} m^3 / s}{3,14 \times (0,016)^2}$$

$$v_{m,y,2} = 0,52 m / s$$

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

Diketahui:

- Diameter dalam selang $d_1 = \frac{3}{4}$ " = 1,75 cm = 0,0175 m

Dihitung:

$$v_{m,y,1} = \frac{4 \times Q_{aktual}}{\pi \times (D_{i,m,y,1})^2}$$

$$v_{m,y,1} = \frac{4 \times 1,055 \times 10^{-4} m^3 / s}{3,14 \times (0,0175)^2}$$

$$v_{m,y,1} = 0,43 m / s$$

Kecepatan aliran air pada diameter corong inlet dengan persentase tercelup sling pump 80% di dalam air. Dengan menggunakan langkah yang sama seperti diatas, hasil perhitungan untuk diameter corong inlet lainnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.2. Kecepatan air pada diameter corong inlet dengan persentase pencelupan sling pump 80% di dalam air.

Diameter corong inlet (cm)	Jumlah inlet (buah)	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump	Kecepatan aliran (m/s)				
				Pipa Delivery	Pipa 3/4"	Pipa 1"	Pipa hollow shaft	Selang 3/4"
5	1	40	80%	0,15	0,15	0,09	0,29	0,24
6	1	40	80%	0,21	0,21	0,13	0,40	0,33
7	1	40	80%	0,27	0,27	0,17	0,52	0,43

4.3. Perhitungan Head Kerugian (*Head Loss*)

4.3.1 Head Kerugian Gesek Sebagai Rugi Mayor

Head kerugian gesek sebagai rugi *mayor* pada kecepatan putaran 40 rpm dengan persentase pencelupan *sling pump* 80%.

1. Perhitungan head kerugian pada pipa *hollow shaft*

Diketahui:

- Kecepatan aliran air dalam pipa (v) = 0,52 m/s
- Panjang pipa, $L = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$

- Diameter dalam pipa, $d_i = 1,6 \text{ cm} = 0,016 \text{ m}$
- $\rho = 996,59 \text{ kg/m}^3$
- $\mu = 0,000852 \text{ kg/m}^3$

Dihitung:

- a. Bilangan *reynolds* (Re)

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

$$\text{Re} = \frac{996,59 \text{ Kg / m}^3 \times 0,52 \text{ m / s} \times 0,016 \text{ m}}{0,000852 \text{ Kg / m.s}}$$

$$\text{Re} = 9731,95$$

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

- b. Angka kekasaran relatif

Untuk pipa *galvanized iron* dari diagram *moody* diperoleh angka kekasaran $\varepsilon = 0,15 \text{ mm}$

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

$$k = \frac{0,00015 \text{ m}}{0,016 \text{ m}}$$

$$k = 0,0093 \text{ m}$$

- c. Koefesien gesek (f)

Berdasarkan bilangan *Reynolds* dan angka kekasaran di atas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek $f = 0,04254$

- d. Head kerugian pada pipa selang (h_l)

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

$$h_l = 0,04254 \times \frac{0,12 \text{ m}}{0,016 \text{ m}} \times \frac{(0,52 \text{ m / s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m / s}^2)}$$

$$h_l = 0,00439 \text{ m}$$

2. Perhitungan head kerugian pada pipa 1''

Diketahui:

- Kecepatan aliran air dalam pipa, $v = 0,17 \text{ m/s}$
- Panjang pipa, $L = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$
- Diameter dalam pipa, $d_i = 1'' = 2,8 \text{ cm} = 0,028 \text{ m}$

Dihitung:

- a. Bilangan *reynolds* (Re)

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

$$\text{Re} = \frac{996,59 \text{ Kg / m}^3 \times 0,17 \text{ m / s} \times 0,028 \text{ m}}{0,000852 \text{ Kg / m.s}}$$

$$\text{Re} = 5567,80$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa aliran air pada pipa 1'' adalah *turbulen* karena nilai $\text{Re} > 4000$

- b. Angka kekasaran relatif

Diasumsikan material pipa yang digunakan adalah plastik, sehingga dari tabel angka

kekasaran diperoleh angka kekasaran, $\varepsilon = 0,0015\text{mm}$

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

$$k = \frac{0,0000015\text{ m}}{0,028\text{ m}}$$

$$k = 0,000053\text{ m}$$

c. Koefisien gesek (f)

Berdasarkan bilangan *Reynolds* dan angka kekasaran diatas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek $f = 0,03632$

d. Head kerugian pada pipa selang

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

$$h_l = 0,03632 \times \frac{0,15\text{ m}}{0,028\text{ m}} \times \frac{(0,17\text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81\text{ m/s}^2)}$$

$$h_l = 0,0000286\text{ m}$$

3. Perhitungan head kerugian pada pipa 3/4"

Diketahui:

- Kecepatan aliran air dalam pipa (v) = $0,27\text{ m/s}$
- Panjang pipa, $L = 19,5\text{ cm} = 0,195\text{ m}$
- Diameter dalam pipa, $d_i = 3/4'' = 2,2\text{ cm} = 0,022\text{ m}$

Dihitung:

a. Bilangan *reynolds* (Re)

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

$$Re = \frac{996,59\text{ Kg/m}^3 \times 0,27\text{ m/s} \times 0,022\text{ m}}{0,000852\text{ Kg/m.s}}$$

$$Re = 6948,05$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa aliran air pada pipa 3/4'' adalah *turbulen* karena nilai $Re > 4000$.

b. Angka kekasaran relatif

Diasumsikan material pipa yang digunakan adalah plastik, sehingga dari tabel angka kekasaran diperoleh angka kekasaran, $\varepsilon = 0,0015\text{mm}$

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

$$k = \frac{0,0000015\text{ m}}{0,022\text{ m}}$$

$$k = 0,000068\text{ m}$$

c. Koefisien gesek (f)

Berdasarkan bilangan *Reynolds* dan angka kekasaran di atas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek $f = 0,03417$

d. Head kerugian pada pipa selang

(h_l)

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

$$h_l = 0,03417 \times \frac{0,195\text{ m}}{0,022\text{ m}} \times \frac{(0,27\text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81\text{ m/s}^2)}$$

$$h_l = 0,000112\text{ m}$$

4. Perhitungan head kerugian pada pipa *delivery*

Diketahui:

- Kecepatan aliran air dalam pipa, $v = 0,27 \text{ m/s}$
- Panjang pipa, $L = 6 \text{ m}$
- Diameter dalam pipa, $d_i = 3/4'' = 0,022 \text{ m}$

Dihitung:

a. Bilangan *reynolds* (Re)

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

$$\text{Re} = \frac{996,59 \text{ Kg/m}^3 \times 0,27 \text{ m/s} \times 0,022 \text{ m}}{0,000852 \text{ Kg/m.s}}$$

$$\text{Re} = 6948,05$$

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa aliran air pada pipa *delivery* adalah *turbulen* karena nilai $\text{Re} > 4000$.

b. Angka kekasaran relatif

Diasumsikan material pipa yang digunakan adalah plastik, sehingga dari tabel angka kekasaran diperoleh angka kekasaran, $\epsilon = 0,0015 \text{ mm}$

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

$$k = \frac{0,0000015 \text{ m}}{0,022 \text{ m}}$$

$$k = 0,000068 \text{ m}$$

c. Koefisien gesek (f)

Berdasarkan bilangan *Reynolds* dan angka kekasaran di atas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek $f = 0,03417$

d. Head kerugian pada pipa selang (h_l)

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

$$h_l = 0,03417 \times \frac{6 \text{ m}}{0,022 \text{ m}} \times \frac{(0,27 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_l = 0,0346 \text{ m}$$

Head loss mayor pada kecepatan putar 40 rpm dengan kondisi tercelup *sling pump* 80% di dalam air. Dengan menggunakan langkah yang sama seperti di atas, hasil perhitungan untuk kecepatan putaran *sling pump* lainnya disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.3. *Head loss mayor* pada diameter corong inlet, pada kecepatan putar

40rpm dengan kondisi tercelup *sling pump* 80% di dalam air.

Diameter corong inlet (cm)	Jumlah inlet (buah)	Putaran (rpm)	Kondisi tercelup sling pump	Head loss mayor (h_i) (m)			
				Pipa Hollow Shaft	Pipa 1"	Pipa 3/4"	Pipa Delivery
5	1	40	80%	0,000147	0,00009	0,000041	0,0126
6	1	40	80%	0,000268	0,000018	0,000073	0,0224
7	1	40	80%	0,000439	0,000028	0,000112	0,0346

4.3.2 Head Kerugian Gesek Sebagai Rugi *Minor*

Head kerugian gesek sebagai rugi *minor* pada kecepatan putaran 40 rpm dengan persentase pencelupan *sling pump* 80%.

- 1) Perhitungan rugi minor pada lilitan selang plastik

Diketahui:

- Kecepatan aliran air pada selang = 0,43 m/s
- Diameter selang (d_i)
= $\frac{3}{4}$ " = 1,75cm = 0,0175m
- Diameter selang plastik
= $\frac{3}{4}$ " = 2,2cm = 0,022m

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

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

$$Re = \frac{996,59 \text{ Kg/m}^3 \times 0,43 \text{ m/s} \times 0,0175 \text{ m}}{0,000852 \text{ Kg/m.s}}$$

$$Re = 8802,04$$

Karena bilangan $Re > 4000$, maka aliran adalah *turbulen*, sehingga dengan mengasumsikan selang adalah pipa plastik, dari diagram *Moody* di dapat faktor nilai kekarasan (k) selang adalah:

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

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

$$k = 0,000857 \text{ m}$$

Berdasarkan bilangan *Reynold* dan angka kekasaran (k) diatas, maka kerugian gesek (f) diketahui dari diagram *Moody* sehingga diperoleh kerugian gesek, $f = 0,03317$

harga $L_e/D = 25$

Harga koefisien lilitan selang sebagai fungsi bilangan *Reynold* yaitu:

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

$$K = 0,03317 \times 25$$

$$K = 0,82925$$

Harga K diatas, adalah K untuk seperempat lilitan selang. Untuk harga koefisien 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 $\frac{1}{4}$ lilitan selang.

N : Jumlah lilitan selang pada *sling pump*.

$$\sum K_{total} = 0,82925 \times 16 \times 4$$

$$\sum K_{total} = 53,072$$

Kerugian aliran disepanjang lilitan selang adalah:

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

$$h_{LM} = 53,072 \times \frac{(0,43m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)}$$

$$h_{LM} = 0,500m$$

2) Perhitungan *head* kerugian pada belokan permukaan selang.

Diketahui:

- Belokan diasumsikan sebagai jenis belokan siku lekuk panjang, dimana

menurut tabel koefisien kerugian tinggi-tekan diperoleh nilai $K = 0,60$ (Streeter, 1985).

- Kecepatan air, $v = 0,43m/s$.

Dihitung :

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

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

$$h_l = 0,60 \times \frac{(0,43m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)}$$

$$h_l = 0,00565m$$

3) 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 $K = 2,2$ (Streeter, 1985).
- Kecepatan air, $v = 0,43m/s$

Dihitung :

Head kerugian pada belokan dalam sling pump (h_i)

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

$$h_i = 2,2 \times \frac{(0,43m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)}$$

$$h_i = 0,020m$$

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

Diketahui :

- Diameter pipa selang (d_1) : $d_1 = 0,0175m$
- Diameter *hollow shaft* (d_2) : $d_2 = 0,016m$
- Kecepatan air pada *hollow shaft*, $v = 0,52m/s$

Dihitung :

- a. Luas penampang selang (A_1)

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

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

$$A_1 = 0,00024m^2$$

- b. Luas penampang *hollow shaft* (A_2)

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

$$A_2 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,016m)^2$$

$$A_2 = 0,00020m^2$$

- c. Koefisien penyempitan

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{0,00020m^2}{0,00024m^2}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = 0,83$$

Maka harga koefisien penyempitan (C_c) untuk air telah ditentukan oleh *Weishbach* dengan harga 0,813 (*Streeter, 1985*).

- d. Head kerugian pada penyempitan selang dan *hollow shaft*

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

$$h_i = \left(\frac{1}{0,813} - 1 \right)^2 \times \left(\frac{(0,52m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)} \right)$$

$$h_i = 0,000729m$$

- 5) Perhitungan kerugian tinggi-tekan akibat pembesaran mendadak (*sudden expansion*) antara *hollow shaft* dan pipa 1”

Diketahui :

- Diameter pipa *hollow shaft* (d_i) : $d_2 = 0,016m$
- Diameter pipa 1” (d_i) : $d_3 = 0,028m$
- Kecepatan air pada pipa 1” : $v = 0,17m/s$

Dihitung :

Head kerugian pada pembesaran *hollow shaft* dengan pipa 1”

$$h_l = \frac{(v)^2}{(2 \times g)} \times \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_3} \right)^2 \right]^2$$

$$h_l = \frac{(0,17m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)} \times \left[1 - \left(\frac{0,016m}{0,028m} \right)^2 \right]^2$$

$$h_l = 0,000668m$$

- 6) Perhitungan kerugian tinggi-tekan akibat penyempitan mendadak (*sudden contraction*) antara pipa 1” dengan pipa 3/4”.

Diketahui :

- Diameter pipa 3/4” (d_i) : $d_4 = 0,022m$
- Diameter pipa 1” (d_i) : $d_3 = 0,028m$
- Kecepatan air pada pipa 3/4” : $v = 0,27m/s$

Dihitung :

- a. Luas penampang pipa 1”

$$A_3 = \frac{1}{4} \times \pi \times d_3^2$$

$$A_3 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,028m)^2$$

$$A_3 = 0,00061m^2$$

- b. Luas penampang pipa 3/4”

$$A_4 = \frac{1}{4} \times \pi \times d_4^2$$

$$A_4 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,022m)^2$$

$$A_4 = 0,00037m^2$$

- c. Koefisien penyempitan (C_c)

$$\frac{A_4}{A_3} = \frac{0,00037m^2}{0,00061m^2}$$

$$\frac{A_4}{A_3} = 0,61$$

Maka dari harga koefisien penyempitan (C_c) untuk air telah ditentukan oleh *Weishbach* dengan harga 0,712 (*Streeter, 1985*)

- d. Head kerugian pada penyempitan pipa 1” dengan pipa 3/4”

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

$$h_l = \left(\frac{1}{0,712} - 1 \right)^2 \times \left(\frac{(0,27m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)} \right)$$

$$h_l = 0,00061m$$

- 7) Perhitungan kerugian pada belokan pipa *delivery*

Diketahui :

- Kecepatan air pada pipa 3/4" : $v = 0,27 \text{ m/s}$
- Diameter pipa : $d = 0,022 \text{ m}$
- Tinggi *delivery* : $z_2 = 2 \text{ m}$
- Panjang *delivery* : $L = 6 \text{ m}$

Dihitung :

a. Sudut belokan (θ)

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

$$\text{Maka : } \sin \theta = \frac{z}{L}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{2\text{m}}{6\text{m}} \right)$$

$$\theta = 19,47^\circ$$

b. Koefisien kerugian

Berdasarkan sudut belokan diatas dan diketahui permukaan pipa halus maka kerugian gesek (f) diketahui dari tabel koefisien kerugian belokan pada sehingga diperoleh kerugian gesek : $f = 0,032$

c. Kerugian pada belokan pipa *delivery* (h_i)

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

$$h_i = 0,032 \times \frac{6\text{m}}{0,022\text{m}} \times \left(\frac{(0,27\text{m/s})^2}{(2 \times 9,81\text{m/s}^2)} \right)$$

$$h_i = 0,0324\text{m}$$

8) Perhitungan kerugian tinggi-tekan akibat pembesaran mendadak (*sudden expansion*) antara 3/4" dan pipa 1"

Diketahui :

- Diameter pipa 3/4" (d_i) : $d_2 = 0,022\text{m}$
- Diameter pipa 1" (d_i) : $d_3 = 0,028\text{m}$
- Kecepatan air pada pipa 1" : $v = 0,17\text{m/s}$

Dihitung :

Head kerugian pada pembesaran antara 3/4" dengan pipa 1"

$$h_1 = \frac{(v)^2}{(2 \times g)} \times \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_3} \right)^2 \right]^2$$

$$h_1 = \frac{(0,17\text{m/s})^2}{(2 \times 9,81\text{m/s}^2)} \times \left[1 - \left(\frac{0,022\text{m}}{0,028\text{m}} \right)^2 \right]^2$$

$$h_1 = 0,000216\text{m}$$

9) Perhitungan *sudden contraction* pipa 1" dengan pipa *delivery*

Diketahui :

- Diameter pipa 1" (d_i) : $d_4 = 0,028\text{m}$
- Diameter pipa *dilevery* (d_i) : $d_5 = 3/4" = 0,022\text{m}$
- Kecepatan aliran pada pipa *dilevery* : $v = 0,27\text{m/s}$

a. Luas penampang pipa *dilevery* 1"

$$A_4 = \frac{1}{4} \times \pi \times d_5^2$$

$$A_4 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,028m)^2$$

$$A_4 = 0,00061m$$

b. Luas penampang pipa 3/4"

$$A_5 = \frac{1}{4} \times \pi \times d_4^2$$

$$A_5 = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,022m)^2$$

$$A_5 = 0,00037m$$

c. Koefisien penyempitan (C_c)

$$\frac{A_5}{A_4} = \frac{0,00037m^2}{0,00061m^2}$$

$$\frac{A_5}{A_4} = 0,61$$

Maka dari harga koefisien penyempitan (C_c) untuk air dapat diketahui dari tabel koefisien kontraksi (C_c) dengan harga 0,712.

d. *Head* kerugian pada penyempitan

$$h_1 = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \times \left(\frac{(v)^2}{(2 \times g)} \right)$$

$$h_1 = \left(\frac{1}{0,712} - 1 \right)^2 \times \left(\frac{(0,27m/s)^2}{(2 \times 9,81m/s^2)} \right)$$

$$h_1 = 0,00061m$$

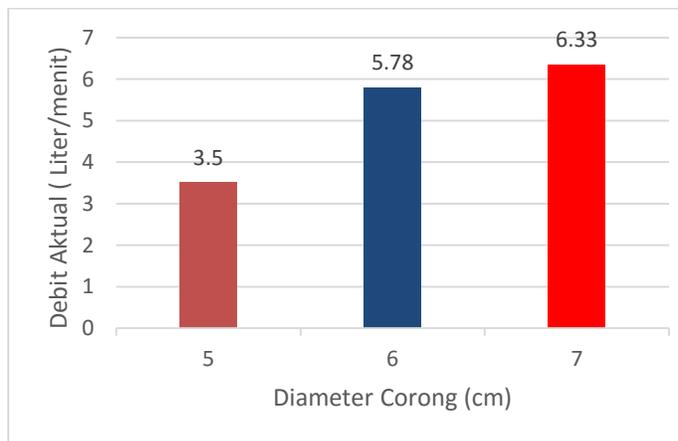
Tabel 4.4. Hasil perhitungan head loss minor pada diameter corong inlet dengan persentase penyempitan sling pump 80% di dalam air pada kecepatan aliran konstan, 40 rpm.

Diameter corong inlet (mm)	Jumlah inlet (0000)	Durasi (rpm)	Kerabat kecepatan sling pump (%)	Head loss minor (g; feet)							
				Selama penambatan sling pump	Belahan dalam sling pump	Belahan masuk vs keluar vs Anders chagt	Belahan masuk Anders chagt vs pipa 1"	Penyempitan masuk pipa 1" vs pipa 3/4"	Penyempitan masuk pipa 1" vs pipa delivery	Penelitian masuk sling 3/4" vs pipa 1"	
5	16	40	80%	0,00176	0,006	0,000226	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018	0,0006
6	16	40	80%	0,00333	0,012	0,00059	0,00052	0,00052	0,00052	0,00052	0,00167
7	16	40	80%	0,00505	0,020	0,00072	0,00066	0,00066	0,00066	0,00066	0,00216

4.4. Pembahasan

4.4.1. Debit

Hasil dari penelitian dapat digambarkan dalam grafik kondisi tercelup sling pump 80 % di dalam air terhadap debit sling pump dengan variasi diameter corong inlet terlihat pada gambar 4.5.1.



Grafik 4.5.1. Pengaruh kecepatan putar sling pump konstan 40 rpm dan diameter corong inlet terhadap debit aktual.

Grafik 4.5.1. menunjukkan bahwa debit air yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini terjadi karena semakin besar ukuran diameter corong inlet maka air dan udara yang masuk ke dalam lilitan selang semakin cepat karena udara berfungsi untuk memberikan tekanan atau dorongan agar air cepat keluar dari pipa outlet .

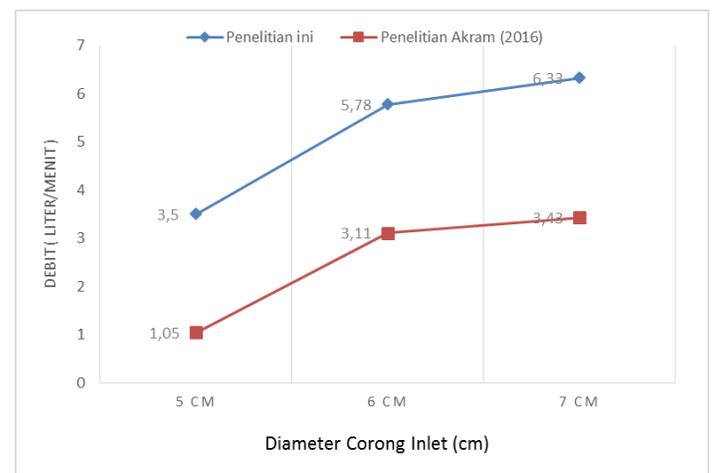
4.5. Perbandingan Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

Hasil dari penelitian yang terkait disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.6.1. Tabel perbandingan Qaktual peneliti sekarang dengan Qaktual yang dihasilkan oleh Akram (2016).

Diameter Corong (cm)	Kondisi tercelup sling pump (%)	Panjang pipa delivery (Ld) (m)	Ketinggian delivery (m)	Penelitian ini	Penelitian (Akram, 2016)
				Q _{aktual} (liter/menit)	Q _{aktual} (liter/menit)
5 cm	80	6	2	3,5	1,05
6 cm				5,78	3,11
7 cm				6,33	3,43

Hasil dari penelitian yang digambarkan dalam grafik diperoleh seperti pada Gambar 4.6.1.



Grafik 4.6.1. Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Sebelumnya juga dilakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* oleh Akram (2016) dengan variasi diameter corong inlet dan persentase pencelupan menggunakan *water mur* dan tinggi *delivery* 2 m. Berdasarkan tabel 4.6.1 dapat dilihat bahwa penggantian *water mur* dengan *water swivel joint* sebagai *water mur* berpengaruh pada debit yang dihasilkan, penelitian menggunakan *water swivel joint* menghasilkan debit lebih besar. Hal ini disebabkan pada penelitian ini tidak terdapat kebocoran air yang terjadi pada *water mur* mengakibatkan penurunan tekanan dan kecilnya debit air.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, D. C. 1996. “*Fisika*”. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Giles, R. V. 1997. “*Mekanika Fluida Dan Hidraulika*”. Jakarta: Erlangga
- Ginanjari, E., 2009, “*Analisa pengaruh variasi ketinggian dilevery terhadap unjuk kerja sling pump bentuk kerucut*”, UMY, Yogyakarta.
- Hasbullah, R.H., 2010, “*Studi pengaruh variasi jumlah lilitan selang plastik dan kecepatan putar terhadap unjuk kerja sling pump jenis kerucut skala laboratorium*”, UMY, Yogyakarta.
- Kurniawan, D.E. 2015, “*Kajian Eksperimental Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Sling Pump Jenis Kerucut Dan Kondisi Pencelupan Terhadap Unjuk Kerjanya*”, UMY, Yogyakarta.
- King, H.W. and Brater, E.F., 1963 “*Handbook of Hydraulics*”, 5th Ed, Mc. Graw-Hill, New York.
- Munson, dkk. 2003. “*Mekanika Fluida*”. Edisi ke-4, Jilid Satu. Jakarta: Erlangga.
- Olson, R.M., 1990. “*Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*”. Edisi Kelima. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Purnama, H.E., 2016. “*Investigasi Unjuk Kerja Sling Pump Jenis Kerucut Dengan Variasi Kecepatan Putar dan Kondisi Pencelupan Menggunakan Manifold Segaris*”. UMY, Yogyakarta.
- Rahkman, F.A., 2009, “*Penelitian pengaruh variasi putaran terhadap unjuk kerja sling pump jenis tirus skala laboratorium*”, UMY, Yogyakarta.
- Siddiqi, C. 2015, Desember 16. *Fisika Itu Menyenangkan*. Retrieved Mei 8, 2016, from <http://chasbisiddiqi.blogspot.co.id/>
- Streeter, V.L., 1985. “*Mekanika Fluida*”. Edisi delapan, Jilid Satu. Jakarta: Erlangga.
- Sularso dan Tahara, H. 2000. “*Pompa dan Kompresor*”. Cetakan ke-7. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sularso dan Kiyokatsu, S. 1997. “*Dasar perencanaan dan penelitian Elemen Mesin*”, Cetakan ke-9. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syamsuddin, 2015, “*Studi Eksperimental Unjuk Kerja Sling Pump Jenis Kerucut dengan Variasi Jumlah Lilitan Selang Plastik dan Presentase Pencelupan*”, UMY, Yogyakarta.
- White, F.M., 1998, “*Fluida Mechanics*”. 4th ed, Mc. New York: Graw-Hill.