

Pengaruh Variasi Diameter Pipa Transmisi Terhadap Tekanan Balik Yang Terjadi Pada Sistem Pompa

Paul Pasring Saragih, Made Suarda dan Ainul Ghurri

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Diameter pipa transmisi merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan untuk mendesain suatu sistem perpipaan. Diameter pipa transmisi juga mempengaruhi karakteristik aliran dalam pipa. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tekanan balik yang terjadi pada sistem pompa dengan variasi diameter transmisi. Terdapat beberapa variasi diameter pipa transmisi dalam penelitian ini yaitu diameter $\frac{1}{2}$ inchi, $\frac{3}{4}$ inchi, 1 inchi, $1\frac{1}{4}$ inchi, $1\frac{1}{2}$ inchi dan 2 inchi, dengan tinggi pemompaan 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter dan 5 meter. Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar diameter pipa transmisi maka tekanan balik yang terjadi semakin kecil begitu juga dengan waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (water hammer) yang semakin kecil, dan semakin tinggi pemompaan cenderung menghasilkan pressure back dan waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (water hammer) yang semakin besar. Dari pengolahan data diperoleh kesimpulan bahwa diameter pipa transmisi mempengaruhi nilai tekanan balik yang terjadi. Dimana tekanan balik terbesar terjadi pada diameter $\frac{1}{2}$ inchi dengan ketinggian pemompaan 5 meter sebesar 0.087640 bar diikuti dengan waktu total rambat gelombang terbesar sejak terjadinya tekanan balik (water hammer) selama 2.567 detik pada $\frac{1}{2}$ inchi dengan ketinggian 5 meter.

Kata kunci : Diameter pipa transmisi; tinggi pemompaan; tekanan balik; waktu total rambatan gelombang tekanan balik.

Abstract

Transmission pipe diameter must be considered to design a piping system. The transmission pipe diameter has an affects on the flow characteristics in the pipe. This research has a purpose to determine the pressure back that happened in the pump system with transmission pipe diameter variations. There are some variations of transmission pipe dimensions in this research, pipe diameter $\frac{1}{2}$ inch, $\frac{3}{4}$ inch, 1 inch, $1\frac{1}{4}$ inch, $1\frac{1}{2}$ inch and 2 inch, with pumping height of 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter dan 5 meter. The result of this research showed that the greater transmission pipe diameter, the smaller pressure back that happened, with the smaller total wave propagation time since pressure back (water hammer), and the higher pumping tend to acquire greater pressure back and the total wave propagation time since pressure back (water hammer). The conclusion of this research showed that the transmission pipe diameter affects the pressure back on the pump system. Where the greatest pressure back happened at $\frac{1}{2}$ inch pipe diameter with a 5 meter pumping height of 0.087640 bar and the largest total wave propagation time since the pressure back (water hammer) happened for 2.567 seconds at $\frac{1}{2}$ inch pipe diameter with 5 meter pumping height.

Keywords : Transmission pipe diameter; pumping height; pressure back; total time of pressure back wave propagation.

1. Pendahuluan

Sistem perpipaan mengalami beberapa fenomena seperti distribusi fluida dan juga perubahan kecepatan aliran secara mendadak akibat dari pengoperasian pompa dan kegagalan pompa beroperasi. Hal ini dapat menimbulkan tekanan yang sangat tinggi sehingga menyerupai suatu pukulan dan dinamakan gejala *water hammer*. Fenomena keadaan *unsteady* ini dapat dikatakan sebagai perubahan energi kinetik dan energi tekanan yang bisa menjadi positif dan negatif. Efek negatif yang dihasilkan oleh fenomena tersebut adalah diantaranya menimbulkan getaran pada pipa dan memperpendek umur pemakaian komponen perpipaan. Perubahan tekanan yang terlalu besar pada pipa dapat menyebabkan pipa rusak atau pecah.

Fenomena *water hammer* ini sering terjadi di bagian *discharge* pompa pada saat pengoperasian dan pada saat pompa berhenti beroperasi. *Water hammer* adalah fenomena terjadinya perubahan tekanan yang diakibatkan oleh penutupan *valve* yang cepat ataupun matinya pompa secara tiba-tiba.

Sistem perpipaan pompa dibagi menjadi 3 bagian yaitu hisap, *discharge* dan transmisi. Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang variasi pipa header pompa untuk mendapatkan model instalasi perpipaan yang dapat menghasilkan unjuk kerja yang optimal [1], dan juga telah dilakukan penelitian tentang pengaruh diameter pipa tekan pada pompa aksial dan menyimpulkan bahwa perubahan diameter pipa tekan mempengaruhi debit air, *head losses* dan performansi pompa.

Selanjutnya telah dilakukan penelitian tentang analisis pengaruh panjang dan kekasaran pipa terhadap efek *water hammer* dan menyimpulkan bahwa semakin kasar pipa uji, efek *water hammer* semakin kecil dan semakin besar modulus elastisnya, semakin besar efek *water hammer* yang terjadi [2], sedangkan Ikhwan (2010) telah melakukan penelitian untuk mempelajari *water hammer* secara menyeluruh yang difokuskan pada sistem perpipaan ini menggunakan sistem *ON-OFF*, yaitu jika permintaan *flow rate* sedikit (minimum) maka hanya satu

beroperasi, jika permintaan *flow rate* meningkat maka kedua pompa dioperasikan.

Diameter pipa transmisi perlu diperhatikan untuk mendesain sebuah sistem perpipaan. Diameter pipa transmisi juga mempengaruhi karakteristik aliran dalam pipa. Berdasarkan standardnya, kecepatan aliran fluida dalam pipa sebesar 0,6-2,5 m/dt [3].

Semakin besar diameter pipa transmisi, maka kecepatan aliran dan *head losses* semakin kecil. Namun massa air yang ada di dalam pipa transmisi akan semakin besar. Hal ini akan mempengaruhi besarnya gaya tekan aliran balik pada saat pompa dimatikan. Maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh diameter pipa transmisi terhadap *water hammer* yang terjadi pada sistem pompa.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk menentukan tekanan balik yang terjadi pada sistem pompa dengan variasi diameter pipa transmisi. Terdapat beberapa batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, seperti :

1. Temperature dan tekanan lingkungan dianggap konstan.
2. Fluida yang digunakan adalah air.
3. Tegangan listrik untuk mensuplai motor pompa diasumsikan konstan.

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain. Sistem perpipaan terdiri dari beberapa komponen antara lain jenis-jenis pipa, jenis-jenis flens, jenis-jenis katup, Jenis-jenis alat penyambung, jenis-jenis baut, gasket, dan bagian khusus [4].

2.2 Aliran Dalam Pipa

Jenis aliran fluida dalam pipa dapat berupa laminar, turbulen, dan transisi. Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan Osborne Reynolds sebagai berikut.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

Dimana *Re* adalah Reynolds number, *v* adalah kecepatan fluida (m/dt), *D* adalah diameter dalam pipa (m), *ν* adalah viskositas kinematik (m²/dt).

2.3 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas dihasilkan dari prinsip kekekalan massa. Sesuai persamaan kontinuitas, fluida yang masuk dan keluar akan memiliki jumlah yang sama [3].

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Dimana *Q* adalah kapasitas fluida (m³/dt), *A* adalah luas penampang (m), *v* adalah kecepatan fluida (m/dt).

2.4 Palu Air

Palu air (*water hammer*) adalah fenomena terjadinya perubahan tekanan yang disebabkan oleh penutupan katup yang cepat atau pompa berhenti beroperasi secara tiba-tiba. Perubahan tekanan akan berdampak buruk terhadap

instalasi perpipaan terutama pipa sebagai jalur utama fluida dialirkan.

Gelombang palu air ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran [5]. Semakin besar kecepatan aliran maka akan meningkatkan besarnya tekanan dan cepat rambat gelombang palu air.

Besar pengaruh tersebut dapat dirumuskan dengan persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$V_c = 4,97v + 615,02 \quad (3)$$

Dimana *V_c* adalah besar cepat rambat gelombang tekanan yang ditimbulkan (m/s), *v* adalah besar kecepatan aliran dalam pipa (m/s).

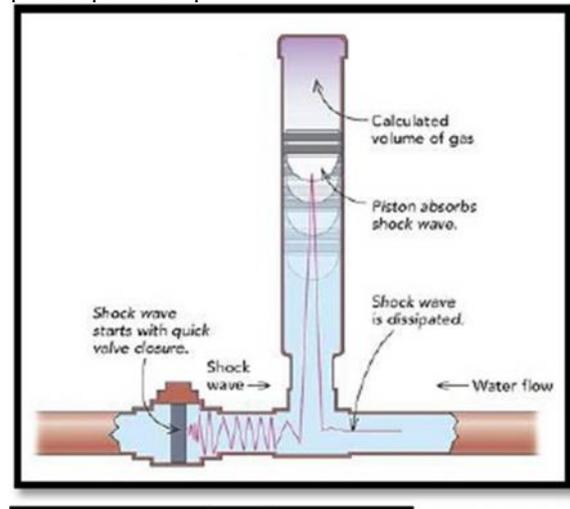
Penambahan tekanan akibat *water hammer* selanjutnya dihitung dengan tekanan hidrostatik,

$$P = \rho \cdot H \quad (4)$$

Dimana tinggi muka air (*H*) mengindikasikan kenaikan peningkatan tekanan yang dipengaruhi oleh kecepatan penutupan katup.

$$H = \frac{l \cdot dv}{g \cdot dt} \quad (5)$$

Dengan *l* adalah panjang pipa, *g* adalah percepatan gravitasi, *dv* adalah perubahan kecepatan aliran, dan *dt* adalah kecepatan penutupan katup.



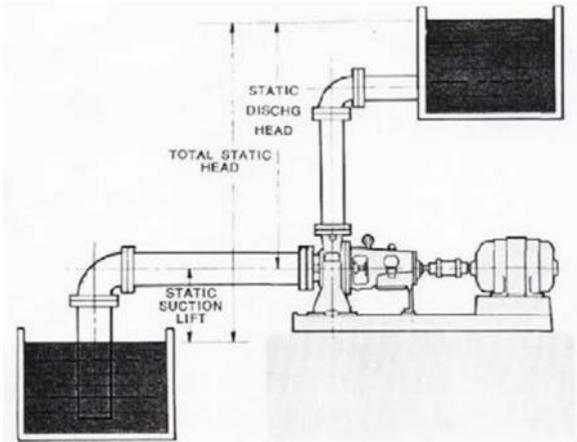
Gambar 1. Ilustrasi Water Hammer

2.5 Head Pompa

Head pompa merupakan energi spesifik yang dihasilkan oleh pompa. Berdasarkan persamaan energi per satuan berat fluida, head pompa dapat ditulis [3]:

$$H_P = (z_d - z_s) + \left(\frac{P_d - P_s}{\rho g} \right) + \left(\frac{v_d^2 - v_s^2}{2g} \right) + H_L \quad (6)$$

Dimana *H_P* adalah head pompa (m), *z_d* adalah tinggi discharge (m), *z_s* adalah tinggi suction, *P_d* adalah tekanan discharge pompa (N/m²), *P_s* adalah tekanan suction pompa (N/m²), *v_d* adalah kecepatan fluida discharge (m/dt), *v_s* adalah kecepatan fluida suction (m/dt), *H_L* adalah head losses total perpipaan (m).



Gambar 2. Head Pompa

2.6 Head Losses

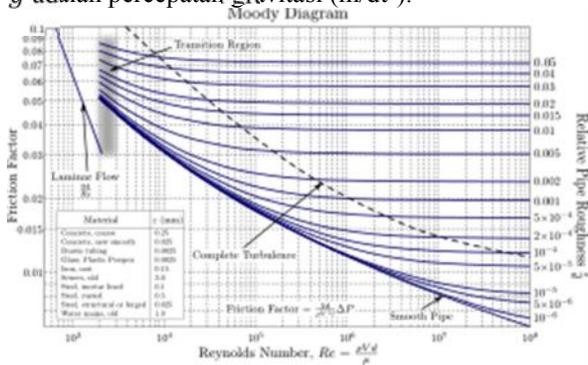
Kerugian energi akibat gesekan di dalam pipa dan akibat aksesoris-aksesoris perpipaan. Terdapat 2 jenis head losses, yaitu major losses dan minor losses.

2.6.1 Major Losses

Kerugian gesekan antara fluida dan permukaan dalam pipa, dapat memakai persamaan berikut [6]:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Dimana H_f adalah head losses major (m), f adalah koefisien gesek, L adalah panjang pipa (m), D adalah diameter pipa (m), v adalah kecepatan fluida (m/dt), g adalah percepatan gravitasi (m/dt²).



Gambar 3. Moody Diagram

2.6.2 Minor Losses

Kerugian gesekan akibat aksesoris-aksesoris perpipaan, dapat memakai persamaan berikut [6]:

$$H_m = k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Dimana H_m adalah head losses minor (m), k adalah koefisien kerugian aksesoris pipa, v adalah kecepatan fluida (m/dt), g adalah percepatan gravitasi (m/dt²).

2.7 Data Akuisisi

Data akuisisi merupakan pengukuran sinyal elektrik dari alat ukur yang nantinya akan di proses di dalam komputer.

Data akuisisi bekerja dari pengumpulan data berupa fisis dari sebuah obyek tertentu oleh sebuah transduser kemudian diproses pada

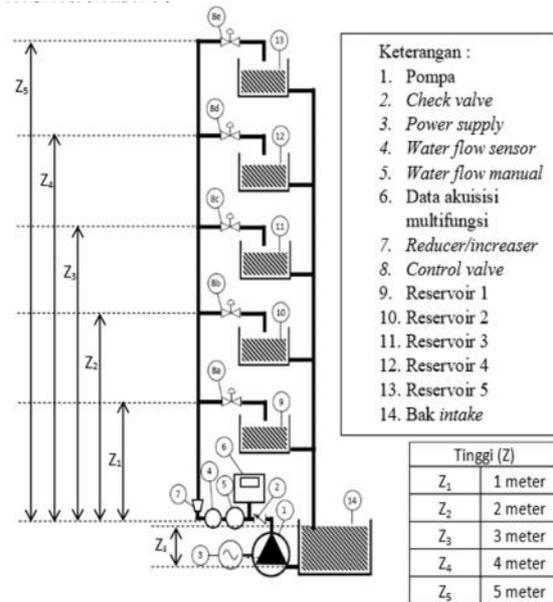
pengolahan data yaitu mengkonversi sinyal analog ke bentuk sinyal digital sehingga dihasilkan suatu nilai tertentu baik dalam bentuk angka dan grafik. Komponen utama yang digunakan pada data akuisisi adalah sensor.



Gambar 4. Data Akuisisi

3. Metode Penelitian

Percobaan sistem pompa menggunakan pipa berdiameter ½ inchi sampai dengan 2 inchi, dan menggunakan tinggi pemompaan 1 meter sampai dengan 5 meter. Skema alat uji ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 5. Skema Alat Uji

3.1 Alat

1. Pompa air digunakan untuk mensirkulasikan air menuju ke reservoir.
2. Pipa PVC dengan berbagai variasi diameter.
3. Control valve digunakan untuk mengatur aliran air.
4. Check valve digunakan untuk mencegah aliran kembali ke pompa.
5. Sambungan pipa, yaitu increaser/reducer, elbow 90° dan tee.
6. Water flow sensor digunakan untuk mengukur debit.

7. Data akuisisi multifungsi digunakan untuk melihat hasil pengukuran tekanan berupa sinyal digital.
8. Kunci pompa dan kunci pas.

3.2 Bahan

1. Fluida yang digunakan adalah air.
2. Lem pipa.

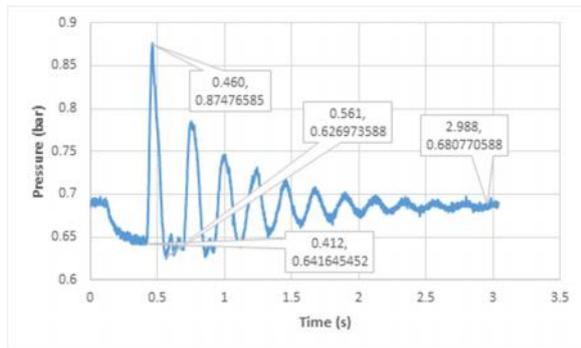
3.3 Prosedur Penelitian

Memasang variasi pipa uji-1 ke sistem pompa, mengisi bak intake sampai penuh, membuka *control valve* tinggi 1 meter, menjalankan pompa sampai terjadi *overflow*, kemudian mematikan pompa, dan mencatat nilai tekanan balik (Pwh) yang tertera pada grafik data akuisisi *multifunction*. Begitu selanjutnya untuk tinggi pemompaan 2 meter, 3 meter, 4 meter, dan 5 meter, serta variasi pipa transmisi diameter ¾ inchi, 1 inchi, 1¼ inchi, 1½ inchi, dan 2 inchi.

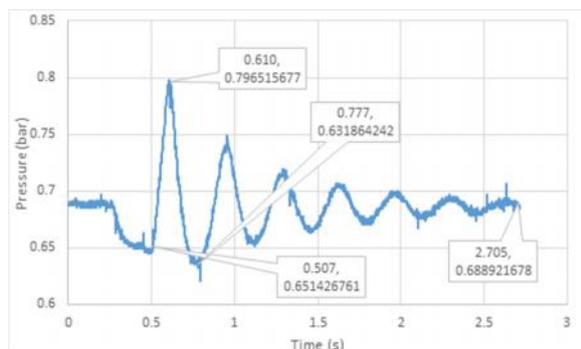
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Pengujian

Data yang telah diukur dengan software LABVIEW dan hardware National Instrumen cDAQ 9171 diolah melalui software Microsoft Excel untuk mendapatkan hasil berupa waktu total rambatan gelombang, waktu satu bukit tekanan tertinggi, tekanan operasional, tekanan balik serta ΔP seperti Gambar 6 – 35.



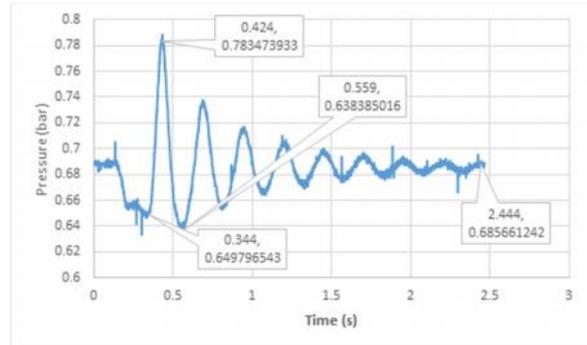
Gambar 6. Grafik pengujian diameter ½ inchi pada tinggi pemompaan 5 meter



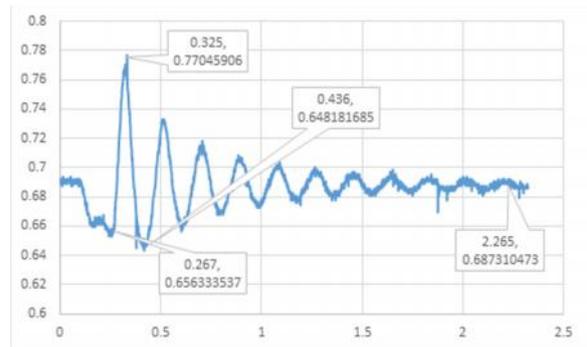
Gambar 7. Grafik pengujian diameter ¾ inchi pada tinggi pemompaan 5 meter

Dari Gambar 4.1, dapat diketahui tekanan balik yang terjadi pada diameter ½ inchi dengan tinggi pemompaan 5 meter sebesar 0.87476585 bar dan waktu total rambatan gelombang menuju titik stabil sebesar 2.576 detik dan waktu satu bukit tekanan

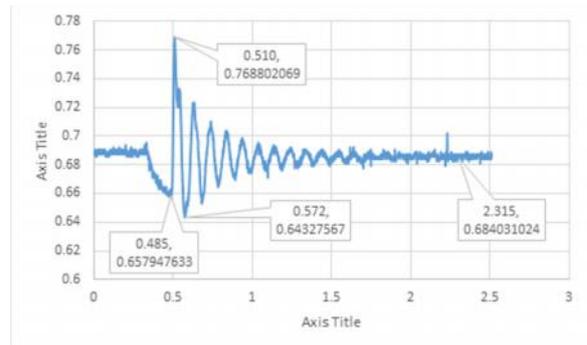
tertinggi sebesar 0.149 detik serta nilai ΔP sebesar 0.23149018 bar. Untuk nilai tekanan operasional sebesar 0.69544 bar dapat dilihat pada data Microsoft Office Excel. Penentuan nilai tekanan balik juga dapat dilakukan dengan mencari nilai maksimum pada Microsoft Office Excel yang sudah terekam pada setiap pengujian dengan variasi diameter pipa transmisi.



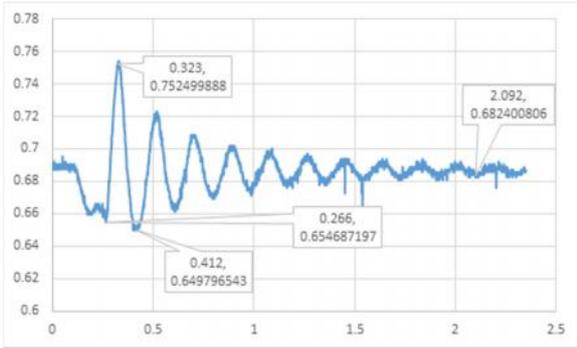
Gambar 8. Grafik pengujian diameter 1 inchi pada tinggi pemompaan 5 meter



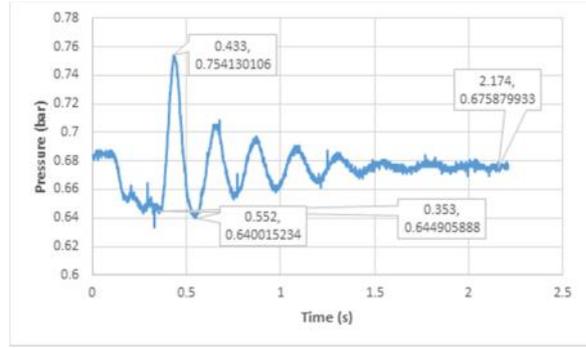
Gambar 9. Grafik pengujian diameter 1¼ inchi pada tinggi pemompaan 5 meter



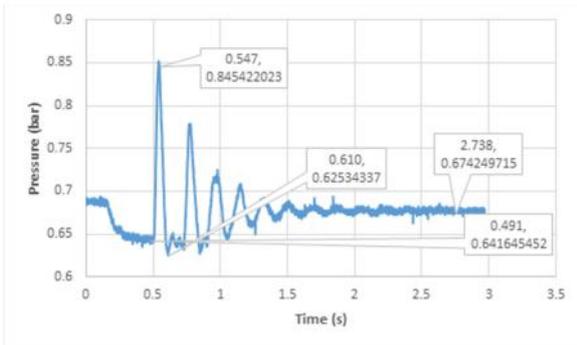
Gambar 10. Grafik pengujian diameter 1½ inchi pada tinggi pemompaan 5 meter



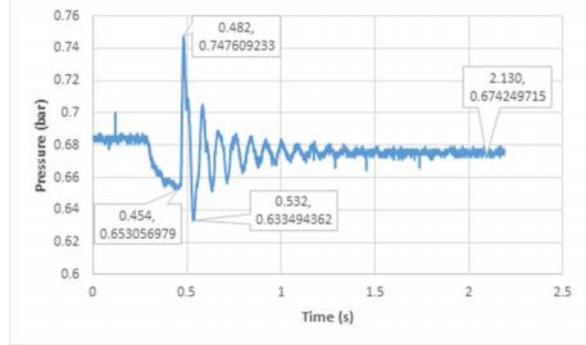
Gambar 11. Grafik pengujian diameter 2 inci pada tinggi pemompaan 5 meter



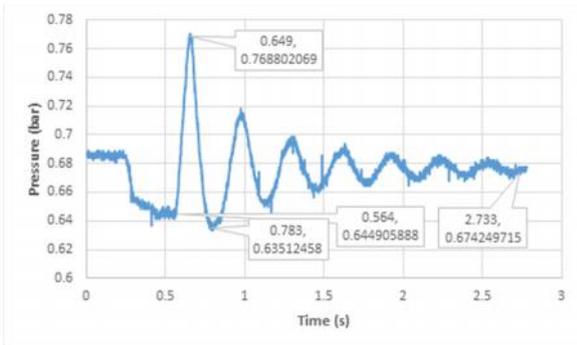
Gambar 15. Grafik pengujian diameter 1 1/4 inci tinggi pemompaan 4 meter



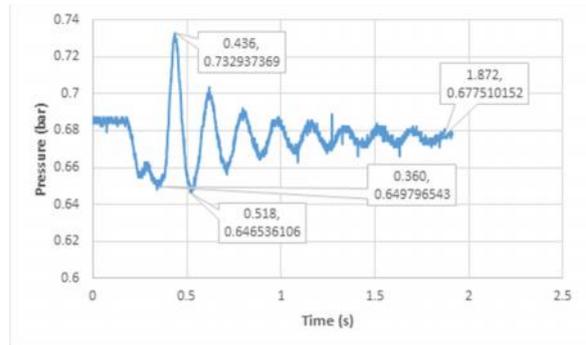
Gambar 12. Grafik pengujian diameter 1/2 inci pada tinggi pemompaan 4 meter



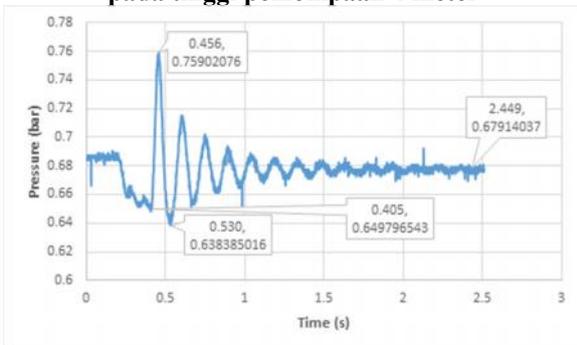
Gambar 16. Grafik pengujian diameter 1 1/2 inci tinggi pemompaan 4 meter



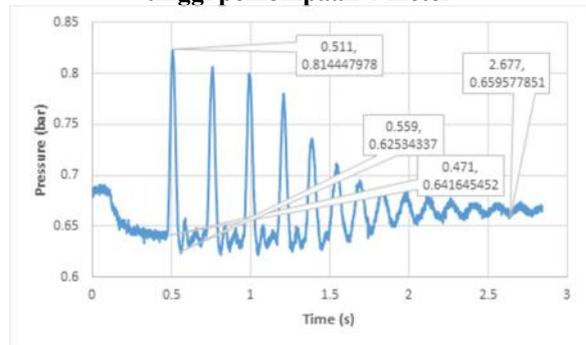
Gambar 13. Grafik pengujian diameter 3/4 inci pada tinggi pemompaan 4 meter



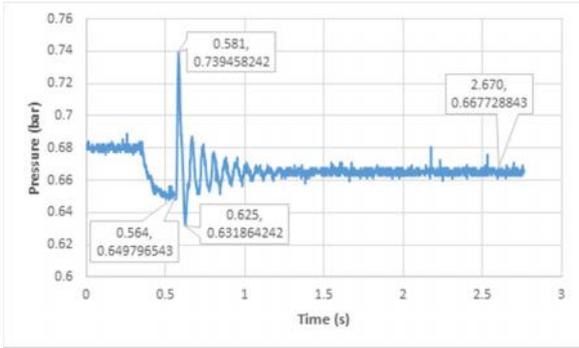
Gambar 17. Grafik pengujian diameter 2 inci tinggi pemompaan 4 meter



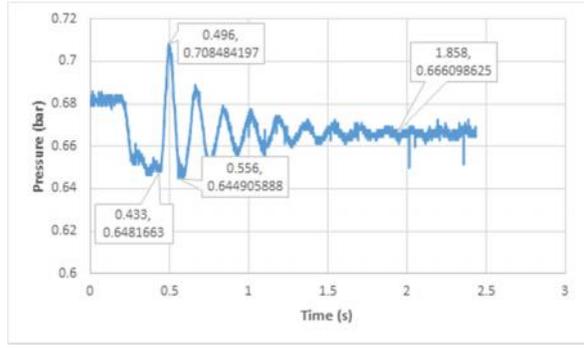
Gambar 14. Grafik pengujian diameter 1 inci tinggi pemompaan 4 meter



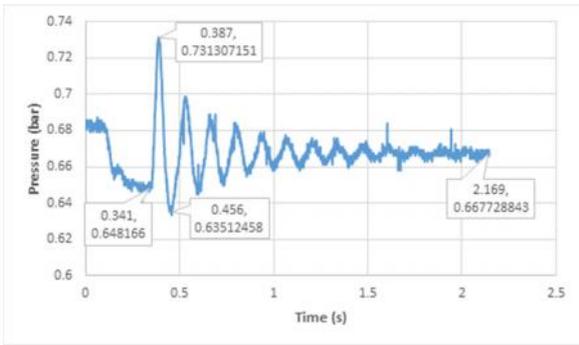
Gambar 18. Grafik pengujian diameter 1/2 inci pada tinggi pemompaan 3 meter



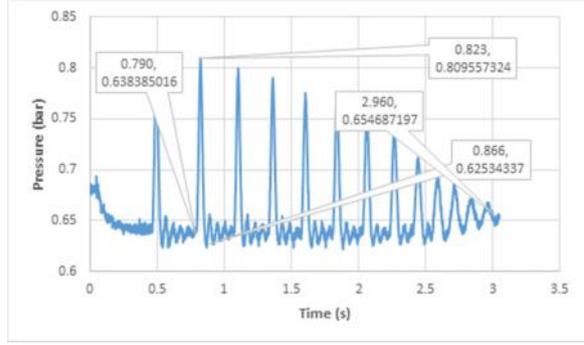
Gambar 19. Grafik pengujian diameter 3/4 inci pada tinggi pemompaan 3 meter



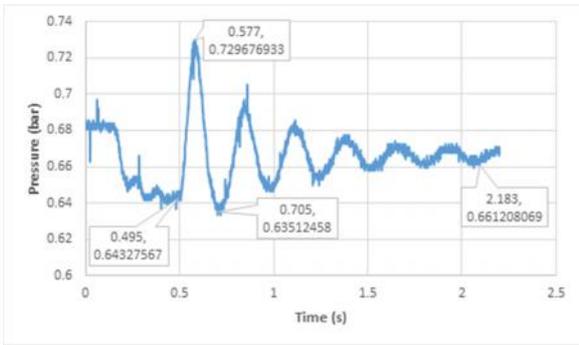
Gambar 23. Grafik pengujian diameter 2 inci pada tinggi pemompaan 3 meter



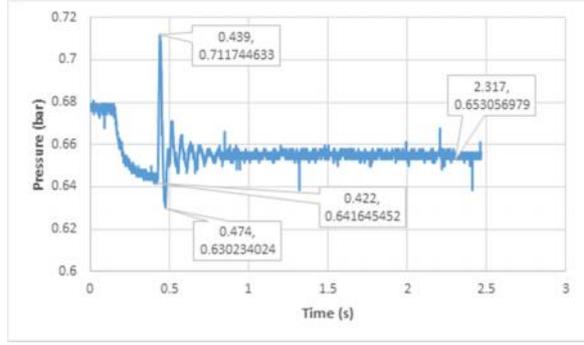
Gambar 20. Grafik pengujian diameter 1 inci pada tinggi pemompaan 3 meter



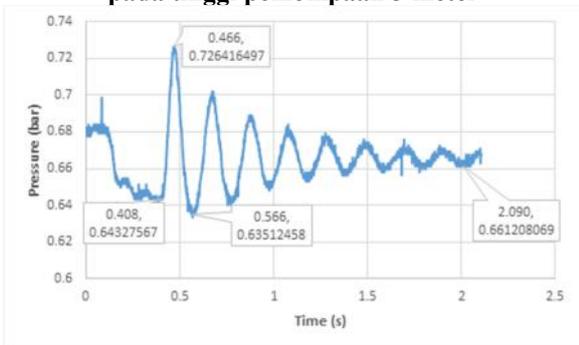
Gambar 24. Grafik pengujian diameter 1/2 inci pada tinggi pemompaan 2 meter



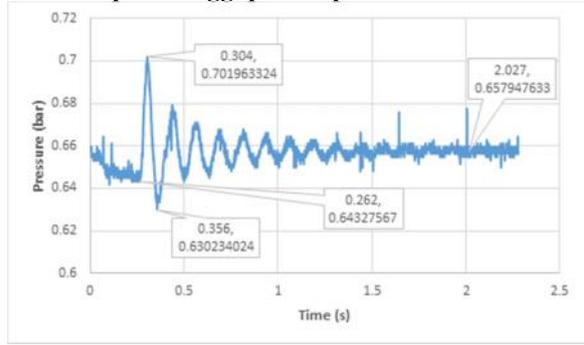
Gambar 21. Grafik pengujian diameter 1 1/4 inci pada tinggi pemompaan 3 meter



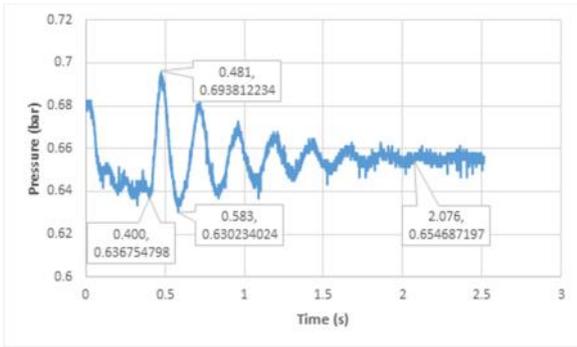
Gambar 25. Grafik pengujian diameter 3/4 inci pada tinggi pemompaan 2 meter



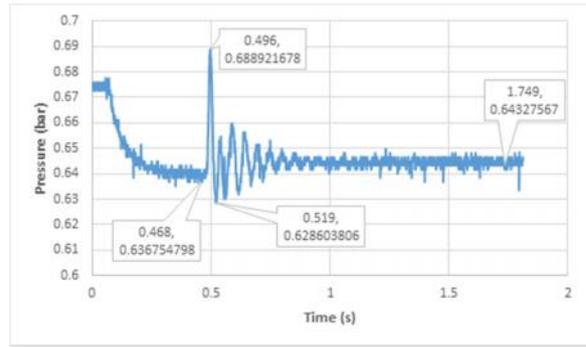
Gambar 22. Grafik pengujian diameter 1 1/2 inci pada tinggi pemompaan 3 meter



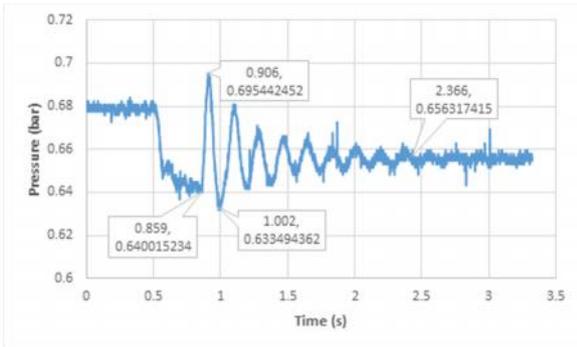
Gambar 26. Grafik pengujian diameter 1 inci pada tinggi pemompaan 2 meter



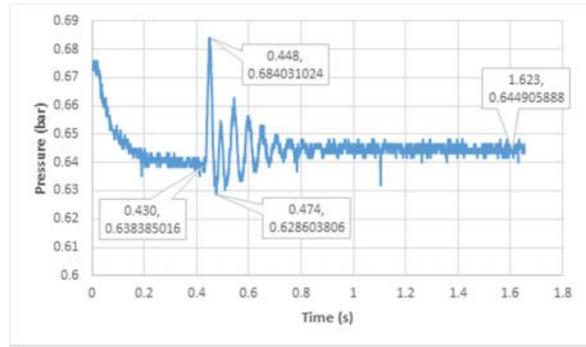
Gambar 27. Grafik pengujian diameter 1¼ inci pada tinggi pemompaan 2 meter



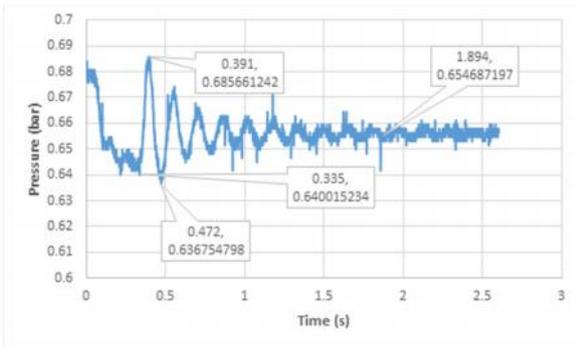
Gambar 31. Grafik pengujian diameter ¾ inci pada tinggi pemompaan 1 meter



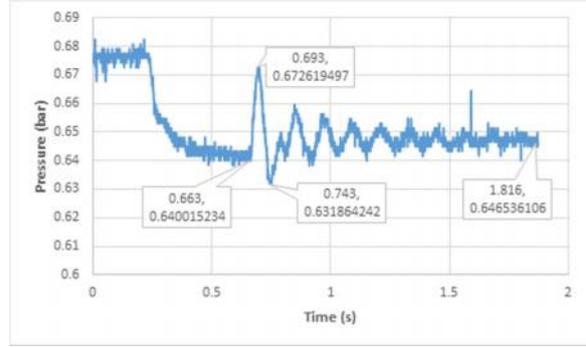
Gambar 28. Grafik pengujian diameter 1½ inci pada tinggi pemompaan 2 meter



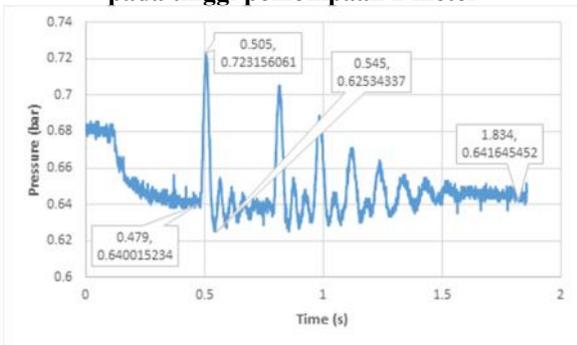
Gambar 32. Grafik pengujian diameter 1 inci pada tinggi pemompaan 1 meter



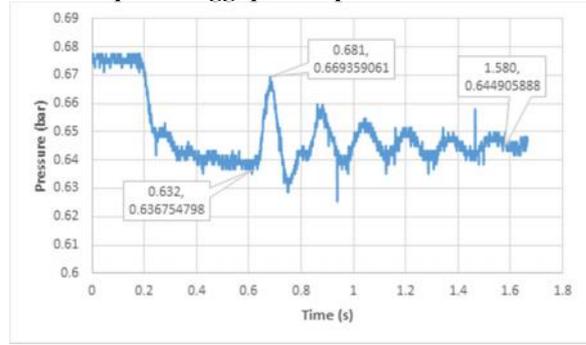
Gambar 29. Grafik pengujian diameter 2 inci pada tinggi pemompaan 2 meter



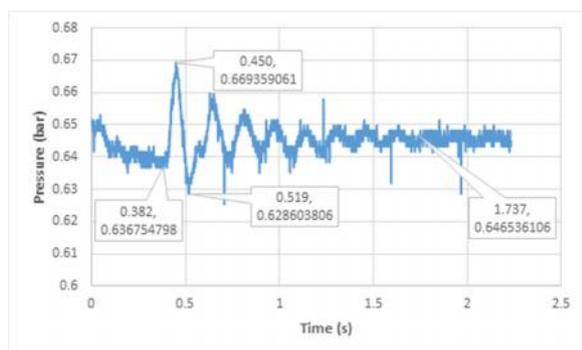
Gambar 33. Grafik pengujian diameter 1¼ inci pada tinggi pemompaan 1 meter



Gambar 30. Grafik pengujian diameter ½ inci pada tinggi pemompaan 1 meter



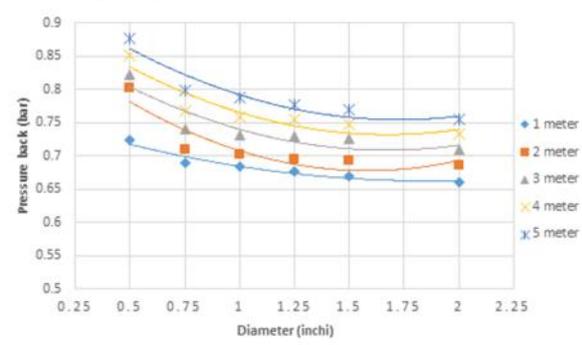
Gambar 34. Grafik pengujian diameter 1½ inci pada tinggi pemompaan 1 meter



Gambar 35. Grafik pengujian diameter 2 inci pada tinggi pemompaan 1 meter

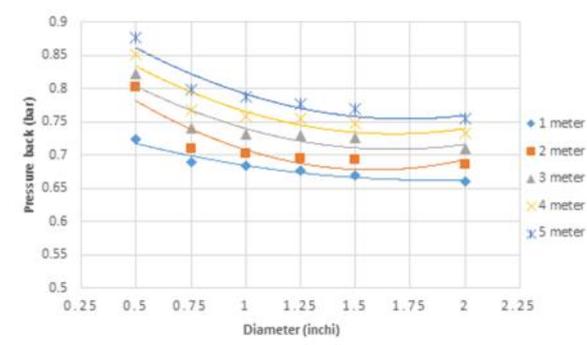
4.2 Pembahasan

Berdasarkan pengolahan data hasil pengujian, dapat dibuat grafik hubungan antara diameter pipa transmisi terhadap tekanan balik (*water hammer*) yang terjadi dan hubungan antara diameter pipa transmisi terhadap waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (*water hammer*).



Gambar 36. Grafik pengaruh diameter pipa transmisi terhadap tekanan balik (*water hammer*)

Dari Gambar 6 dapat disimpulkan dengan semakin besarnya diameter pipa transmisi akan menghasilkan tekanan balik yang terjadi semakin kecil. Sedangkan semakin besar tinggi pemompaan maka kecepatan aliran semakin meningkat. Tekanan balik maksimal terjadi pada diameter pipa transmisi ½ inci dengan tinggi pemompaan 5 meter.



Gambar 37. Grafik pengaruh diameter pipa transmisi terhadap waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (*water hammer*)

Dari Gambar 7 dapat disimpulkan dengan semakin besarnya diameter pipa transmisi akan menghasilkan waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (*water hammer*) semakin kecil, sedangkan semakin besar tinggi pemompaan maka waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (*water hammer*) semakin besar. Waktu total rambat gelombang terbesar sejak terjadinya tekanan balik (*water hammer*) terjadi pada diameter ½ inci dengan tinggi pemompaan 5 meter.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, maka diperoleh kesimpulan dengan semakin besarnya diameter pipa transmisi akan menghasilkan tekanan balik yang semakin kecil. Kemudian semakin besar tinggi pemompaan akan menghasilkan kecepatan aliran yang semakin besar. Tekanan balik maksimal terjadi pada diameter pipa transmisi ½ inci pada tinggi pemompaan 5 meter sebesar 0.87640 bar diikuti dengan waktu total rambat gelombang sejak terjadinya tekanan balik (*water hammer*) selama 2.567 detik.

Daftar Pustaka

- [1] Suarda, M., Suryawan, A.A.A., Sukadana, I.G.T, 2016, *Penentuan Dimensi Perpipaan Sistem Pompa Paralel*, Jurnal Energi dan Manufaktur, Vol.9 No.1, pp. 84-90.
- [2] Ahmad Amri, 2010, *Analisis Pengaruh Panjang Dan Kekasaran Pipa Terhadap Efek Water Hammer*, Jurnal Teknik Mesin Vol.12 No.1.
- [3] Suarda, M., & Suryawan, A.A.A, 2014, *Kajian Diameter Pipa Hisap Sistem Pompa Paralel*, Bali (ID): Universitas Udayana.
- [4] Raswari, 1986, *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*, Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- [5] Bochari, Joleha, Nurdin dan Amril, *Fenomena Palu Air (Water Hammer) Menggunakan Pendekatan Model Fisik*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293.
- [6] Sularso dan Tahara, H.,1983, *Pompa dan Kompresor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan (Terjemahan)*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

	<p>Paul Pasring Saragih, telah menyelesaikan studi program sarjana di Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2019. Topik Penelitian yang dilakukan berjudul Pengaruh Variasi Diameter Pipa Transmisi Terhadap Tekanan Balik Yang Terjadi Pada Sistem Pompa.</p>
<p>Area penelitian yang diminati adalah Konversi Energi.</p>	