



Analisis Kinerja Sistem Pompa Hidram Tiga Katup dengan Menggunakan Pendekatan Simulasi CFD

Heri Suropto^{a,*}, Ahmad Fathoni^a

^aJurusan Teknik Mesin, Universitas Pasir Pengaraian, Jl. Tuanku Tambusai, Rambah, Pasir Pengaraian, Kabupaten Rokan Hulu, Riau 28558

INFO ARTIKEL

Diterima: 3 Juli 2020

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem pompa hidram tiga katup. Penambahan jumlah katup tekan dan pengecilan pipa keluar dapat menambah tinggi tekan pompa hidram. Pompa hidram sangat dibutuhkan pada daerah yang belum teraliri arus listrik, karena dalam pengoperasian pompa hidram tidak memerlukan aliran listrik, melainkan menggunakan hantaman katup tekan dengan level ketinggian air. Langkah proses penelitian meliputi perancangan diameter pipa masuk, diameter pipa keluar, ketinggian head, diameter tabung vakum, dan diameter katup tekan. Hasil perancangan digambar menggunakan aplikasi inventor kemudian gambar diimport kedalam aplikasi simulasi CFD untuk disimulasikan. Hasil simulasi dianalisis secara numerik untuk mengetahui kinerja dari pompa hidram tiga katup. Hasil simulasi menunjukkan kecepatan tertinggi terdapat pada kecepatan pada pipa keluar pompa hidram, dengan kecepatan maksimum sebesar 4,7 m/s, head total sebesar 2,81 m, kapasitas sebesar 0,021 m³/s. efisiensi maksimum pompa sebesar 1,56 % dengan daya sebesar 306,9 watt, semangkit besar tekanan air masuk kedalam katup tekan maka pompa hidram akan menghasilkan head total tinggi.

Kata kunci: daya pompa; efisiensi pompa; kecepatan: pompa hidram; tekanan air masuk.

E – MAIL

heri.suroptodotone@gmail.com*
 ahmadfathoniupp@gmail.com

ABSTRACT

This research was conducted to analyze the performance of the three-valve hydram pump system. Increasing the number of pressure valves and reducing the outlet pipe can increase the hydraulic pump's compressive height. Hydram pump is needed in areas that have not been electrified, because hydram pump operation does not require electricity, instead of using a pressure valve hit with a water level. The research process steps include designing the inlet pipe diameter, the outlet pipe diameter, head height, vacuum tube diameter, and diameter of the pressure valve. The results of the drawings are drawn using the inventor application then the images are imported into the CFD simulation application to be simulated. Simulation results are numerically analyzed to find out the performance of the three-valve hydram pump. Simulation results show the highest speed is in the speed of the hydram pump outlet, with a maximum speed of 4.7 m/s, a total head of 2.81 m, a capacity of 0.021 m³/s. maximum pump efficiency of 1.56% with a power of 306.9 watts, when a large amount of water pressure enters the pressure valve the hydram pump will produce a high total head.

Kata kunci: pump power; pump efficiency; speed: hydram pump; incoming water pressure.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan untuk kelangsungan kehidupan. Bagi daerah yang berdekatan dengan sumber air dan kondisi daerah dibawah sumber air tersebut, maka air tersebut akan mengalir dengan

sendirinya. Hal tersebut berbeda dengan kondisi daerah yang jauh lebih tinggi dari sumber air, maka perlu dibutuhkan alat untuk menaikkan air tersebut.

Pompa adalah salah satu alat yang efisien untuk digunakan sebagai alat pemindah air dari tempat yang

rendah ketempat yang lebih tinggi. Jenis pompa yang sering digunakan adalah pompa listrik yang menggunakan sumber listrik atau pompa dengan menggunakan penggerak mesin berbahan bakar bensin atau solar. Hal tersebut akan terasa pada daerah yang susah jangkauan dari bahan bakar tersebut.

Kondisi daerah yang jauh dari jangkauan listrik dan bahan bakar maka perlu inovasi teknologi yang dapat merubah pompa bertenaga listrik diganti dengan pompa tanpa bahan bakar.

Inovasi tersebut adalah pompa hidram dimana untuk menaikkan fluida dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi tidak menggunakan bahan bakar melainkan menggunakan tinggi level tekan yang dilakukan oleh katup tekan dan tabung dengan kondisi vakum, maka ketika katup bertekanan bekerja tabung vakum tersebut akan menekan kembali fluida ketempat yang lebih tinggi.

Pengembangan pompa hidram sebagai alternatif penyedia air, dengan spesifikasi diameter input = 2,5 inci; diameter output = 1 inci; langkah torak pada katup limbah = 5 cm; diameter tabung udara = 5 inci; panjang tabung udara = 50 cm; bahan pompa pipa galvanis, susunan pompa hidram terdiri dari susunan input, katup limbah, kompresor. Efisiensi pompa hidram 52.6% dan debit output 7.5 liter/menit dengan tinggi angkat air 20 meter [1].

Analisis beda tinggi katup dan variasi diameter pipa inlet terhadap unjuk kerja Pompa hidram ukuran dua inci dimana diameter pipa masuk sangat berpengaruh pada debit air yang dihasilkan pompa, semakin besar diameter pipa masuk maka memperkecil debit pemompaan tetapi memperbanyak pulse dan debit tebuang [2].

Pengaruh ketinggian terjunan dan volume tabung udara terhadap kinerja pompa hidram Semakin tinggi pipa *discharge* maka semakin tinggi kapasitas *discharge*. Pada perancangan pompa hidram didapatkan ketinggian terjunan yang paling optimal yaitu pada ketinggian pipa *discharge* 3,5 meter dengan Kapasitas *discharge* sebesar 5,74 liter/menit, efisiensi volumetris 45 %, dan efisiensi pompa 40 %, dengan variasi volume tabung udara 0,0028 m³ dan tinggi terjunan 1,75 m [3].

Dari hasil pengujian yang dilakukan untuk variasi tinggi tabung udara dan panjang pipa pemasukan efisiensi maksimum diperoleh 29.55% pada tinggi tabung udara 60 cm dan panjang pipa pemasukan 10 meter dengan kapasitas aktual pipa pemasukan 0,000424666 (m³/s), kapasitas pipa *discharge* 0,0000355 (m³/s), tekanan pada pipa *discharge* 0,66

bar dan tekanan pada tabung udara 0,602 bar. Penggunaan tabung udara berdasarkan pengujian yang dilakukan, bahwa tinggi tabung udara dan panjang pipa pemasukan pada pompa hidram berpengaruh pada kapasitas pemompaan dan kinerja dari pompa hidram. Untuk penelitian pompa hidram berikutnya di harapkan melakukan penelitian terhadap volume tabung udara yang lebih akurat dengan membandingkan data yang di hasilkan dengan menggunakan 3 sampai 5 variasi tinggi tabung udara dan penggunaan alat ukur yang lebih akurat [4].

Semakin tinggi *discharge* semakin berkurang kapasitas *discharge*. Variabel berat katup limbah 200,250,300,350,400,450 pada pompa dengan ketinggian sumber air 200 cm, panjang pipa *inlet* 400cm, diameter pipa *inlet* 1 1/4 inch, volume tabung 0,0031 m³, menunjukkan kapasitas terbaik pada berat katub limbah 200 gram dan dengan ketinggian *discharge* 300 cm, dengan hasil kapasitas 7,75 L/min Efisiensi volumetris terbaik pada berat katub limbah 200 gram dengan nilai 52,961 % pada *discharge* 300 cm, Efisiensi pompa terbaik pada ketinggian *discharge* dan berat katub limbah 200 gram dengan nilai 60,623 % [5].

Penggunaan alat pembagi tekan berpengaruh terhadap efek palu air. Tanpa pemasangan alat pembagi tekan, pompa *hidram* bergetar cukup besar, namun dengan adanya alat pembagi tekan getaran akibat palu air pada pompa *hidram* berkurang dan pada pipa keluaran alat pembagi tekan getaran hilang. Penggunaan alat pembagi tekan berpengaruh terhadap efisiensi pompa *hidram*. Tanpa alat pembagi tekan efisiensi pompa hanya 26,62%, namun dengan pemasangan alat pembagi tekan efisiensi pompa meningkat yaitu yang tertinggi hingga mencapai 31,62%. Panjang tabung pada alat pembagi tekan memiliki pengaruh terhadap efisiensi pompa *hidram*. Panjang tabung alat pembagi tekan pada pompa *hidram* tidak berbanding lurus dengan efisiensi pompa *hidram*, efisiensi pompa *hidram* tertinggi pada penggunaan panjang tabung 20 cm yaitu 31,62% dan efisiensi terendah pada panjang tabung 50 cm yaitu 26,99%. Semua berlaku pada berbagai posisi pemasangan alat pembagi tekan. Tinggi pemasangan alat pembagi tekan berpengaruh terhadap efisiensi pompa *hidram*. Efisiensi pompa *hidram* tertinggi pada pemasangan alat pembagi tekan pada tinggi 2 m dari badan pompa yaitu 31,62% dan efisiensi pompa *hidram* terendah pada pemasangan pembagi tekan 3 m dari badan pompa yaitu 26,99 % [6].

Variasi rasio d/h dari tabung kompresor memberikan pengaruh terhadap debit output pompa

hydram. Pada berbagai variasi rasio d/h dari tabung kompresor diperoleh debit *output* dan efisiensi pompa *hydram* terbesar pada rasio d/h tabung kompresor 0,198 untuk berbagai variasi tinggi terjunan, namun tidak memberikan pengaruh terhadap *head* maksimum. Hal ini terjadi dikarenakan meskipun ukuran tabung kompresor bervariasi namun volume dari tabung tersebut sama, ini menunjukkan bahwa ruang udara dengan berbagai variasi tabung kompresor memiliki ukuran yang sama. Keadaan ini secara tidak langsung memberi dampak terhadap tegangan (*pressure pulse*) yang terjadi sama pula yaitu sebesar 0,3 kg/cm². *Head* maksimum pompa *hydram* akan berubah atau bertambah besar pada saat tinggi terjunan mengalami peningkatan. Setiap kenaikan 1 meter tinggi terjunan maka debit *ouput* akan mengalami kenaikan rata-rata sebesar 36,6% sedangkan *head* maksimum akan meningkat rata-rata sebesar $5 \div 6$ meter [7].

Kecepatan katup limbah meningkat seiring meningkatnya panjang langkah katup limbah, dari hasil simulasi kecepatan (v) katup limbah untuk tiap panjang langkahnya adalah 0,5639; 0,7534 dan 1,0191 m/s sedangkan hasil pengujian adalah 0,5175; 0,7959 dan 1,1128 m/s. Demikian juga dengan tekanan badan pompa (P1) dan tekanan tabung (P2), tekanan menurun seiring semakin besarnya volume tabung. Hasil simulasi tekanan P1 dengan volume 0,0061 m³ adalah 1,1622534 Bar sedangkan hasil pengujian adalah 1,19 Bar dan hasil simulasi tekanan (P2) dengan volume 0,0061 m³ adalah 1,1609234 Bar sedangkan hasil pengujian adalah 1,17, hasil simulasi tekanan P1 dengan volume 0,0082 m³ adalah 1,1192458 Bar sedangkan hasil pengujian adalah 1,16 Bar dan hasil simulasi tekanan P2 dengan volume 0,0082 m³ adalah 1,1174902 Bar sedangkan hasil pengujian adalah 1,13 Bar, Hasil simulasi tekanan P1 dengan volume 0,0102 m³ adalah 1,0868658 Bar sedangkan hasil pengujian adalah 1,12 Bar dan hasil simulasi tekanan P2 dengan volume 0,0102 m³ adalah 1,0852968 Bar sedangkan hasil pengujian adalah 1,10 Bar. simulasi dan hasil pengujian, diperoleh penyimpangan tertinggi ada pada kecepatan (v) pada panjang langkah 25 mm yaitu 9,19 %, sedangkan penyimpangan terendah ada pada tekanan tabung (P2) pada volume 0,0061 m³ yaitu 0,78 % [8].

Penelitian ini akan menganalisis kinerja pompa hidram tiga katup dengan menggunakan pendekatan simulasi CFD, dimana *output* dari penelitian ini adalah dapat menghasilkan *head* pompa jauh lebih efektif dan dapat dimanfaatkan bagi daerah yang jauh dari jangkauan listrik dan bahan bakar.

Pendekan simulasi dan pabrikasi kedepan perlu dikembangkan karena model baru dari desain pompa hidram sangat dibutuhkan dan sangat membantu untuk masalah-masalah yang besar seperti daerah yang jauh dari jangkauan listrik [9].

1.1 Fundamental aliran pompa

Mesin hidrolis yang mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolis disebut Pompa. Energi hidrolis adalah dalam bentuk energi tekanan. Jika energi mekaniknya diubah menjadi energi tekanan dengan cara gaya sentrifugal yang bekerja pada fluida, kemudian mesin hidrolis disebut "Pompa Sentrifugal". Pompa Sentrifugal bertindak sebagai kebalikan dari turbin reaksi aliran radial ke dalam. Ini berarti bahwa aliran dalam pompa sentrifugal ada di arah luar radial. Pompa sentrifugal bekerja berdasarkan prinsip aliran *vortex* paksa yang berarti bahwa ketika massa cairan tertentu diputar oleh torsi eksternal, kenaikan tekanan kepala cairan berputar terjadi. Kenaikan tekanan kepala di setiap titik cairan berputar sebanding dengan kuadrat kecepatan tangensial cairan pada titik itu. Di *outlet* dari *impeller* jari-jari lebih, kenaikan tekanan kepala akan lebih dan cairan akan habis di *outlet* dengan *head* tekanan tinggi. Karena kepala tekanan tinggi ini, maka Cairan dapat diangkat ke tingkat tinggi [10].

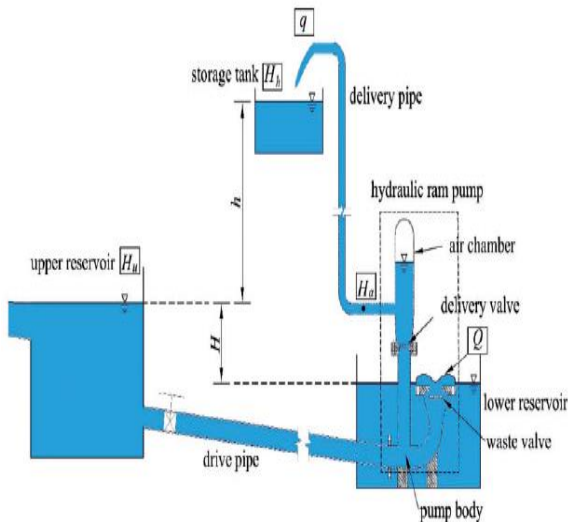
1.2 Konsep pompa hidram

Konsep pompa ram hidrolis (HRP) dikembangkan 200 tahun yang lalu, dalam HRP, tidak ada kekuatan eksternal yang diperlukan untuk itu menaikkan air. Air dipompa dari ketinggian tertentu pada laju aliran tinggi dan keluar dengan head lebih tinggi tetapi pada laju aliran lebih rendah karena efek palu air. sistem terdiri dari pipa penggerak, katup limbah, katup pembuangan, ruang udara (tekanan), dan pipa pengiriman hanya bagian yang bergerak dari sistem adalah katup limbah dan katup pembuangan yang beroperasi dari aksi dinamis fluida dari siklus pemompaan [11].

Pompa hidram adalah pompa yang memanfaatkan energi momentum dari kuantitas yang terus turun air untuk memompa sebagian ke ketinggian yang jauh lebih tinggi dari tingkat aslinya di sumbernya, selama ada pasokan air yang konstan, pompa akan tetap berfungsi terus menerus dan otomatis. mekanisme yang sangat berguna untuk memompa air kemana ada sumber besar air yang tersedia, seperti sungai, saluran, bendungan atau bentuk reservoir lainnya. Pompa hidrolis jauh lebih ramah lingkungan untuk memompa air dibandingkan dengan listrik konvensional atau pompa energi berbasis bahan bakar fosil [4].

1.3 Desain structural

Sistem pompa ram hidrolik tipikal terdiri dari reservoir atas (reservoir persediaan, tangki pasokan, tangki header), pipa penggerak (pipa pasokan), reservoir bawah, pompa ram hidrolik, pipa pengiriman (pipa pembuangan), dan tangki penyimpanan (reservoir pengiriman, tangki pengiriman), sebagai ditunjukkan pada Gambar 1. Reservoir atas memasok sistem dengan air melimpah sedangkan reservoir bawah mengumpulkan air limbah dan menuntunnya ke tempat yang jauh dari pompa ram hidrolik jika erosi dasar [12].



Gambar 1. Hydraulic ram pump system

Efisiensi hidrolik pompa ram, dinotasikan sebagai, dihitung menurut rasio energi keluaran terhadap energi input, yaitu, nilai peningkatan energi potensial dari aliran pengiriman dibagi dengan berkurangnya energi potensial dari aliran limbah, yang mengambil permukaan air reservoir atas, rumusnya adalah [13].

$$\eta = \frac{qh}{(Q+q)H} \quad (1)$$

Dimana:

- η = efisiensi (%)
- h = head reservoir bawah (m)
- H = head reservoir atas (m)
- Q = debit reservoir bawah (m^3/s)
- q = debit reservoir atas (m^3/s)

1.4 Parameter pompa hidram

Sejumlah parameter dipertimbangkan dalam mendesain pompa air ram hidrolik. Parameternya termasuk laju aliran volumetrik (Q), kecepatan aliran fluida (Vd), daya (P) dan efisiensi sistem (η). Data dari percobaan diperlukan untuk memvalidasi dengan pengetahuan teoretis. Ini data dapat dihitung menggunakan Persamaan [14].

$$Q = \pi r^2 L \frac{n}{60} \quad (2)$$

Di mana Q mewakili laju aliran, r adalah jari-jari pipa, L adalah panjang pipa dan n adalah kecepatan revolusi.

$$Vd = \frac{Q}{Ad} \quad (3)$$

Di mana Vd menunjukkan kecepatan fluida, Q jika laju aliran fluida dan Ad adalah luas pipa.

$$P = \rho ghQ \quad (4)$$

Di mana ρ adalah densitas fluida, g adalah percepatan gravitasi dan h adalah head net.

$$\eta = (H Q_{out}) / (F Q_{in}) \times 100 \quad (5)$$

Di mana H adalah Tinggi pengiriman, Q_{out} adalah laju aliran keluar, F adalah kepala pasokan dan Q_{in} adalah aliran masuk.

Panjang pipa masuk pompa dihitung berdasarkan ketinggian level air ke diameter pipa masuk [13].

$$6H < L < 12H \quad (6)$$

Di mana L adalah panjang pipa masuk dan H adalah ketinggian.

Menentukan kecepatan aliran air pada penggerak [15].

$$v_{max} = Cf \sqrt{2gH} \quad (7)$$

Di mana V_{max} adalah kecepatan aliran air pipa penggerak, g adalah gravitasi, dan Cf adalah koefisien aliran (0,25 – 0,35)

Menghitung head loss pada pipa penggerak mayor dan minor [16].

$$H_{lma} = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Di mana f adalah koefisien gesek pipa (0,026), d adalah diameter pipa dan v adalah kecepatan rata-rata.

Menghitung kerugian minor. Kerugian ini terjadi karena adanya perubahan bentuk penampang pipa atau arah aliran [10].

$$H_{lmi} = k \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Menghitung head loss total di mana penjumlahan antara head loss mayor dan head loss minor [17].

Di mana k adalah koefisien gesek pada pipa minor.

Menentukan kecepatan aliran air pada katup tekan [17].

$$H_{ld} = H_{lma} + H_{lmi} \quad (10)$$

Di mana H_{lma} adalah head loss mayor dan H_{lmi} adalah head loss minor.

$$v_{max} = Cf \sqrt{2g(H - H_{ld})} \quad (11)$$

1.5 Analisis Simulasi CFD

Computational Fluid Dynamics CFD-FLUENT adalah satu komponen perangkat lunak yang berfungsi untuk menganalisis fenomena yang terjadi di dalam aliran fluida. Awal simulasi dimulai dengan membuat

prototipe desain kemudian di import ke perangkat lunak CFD. Desain dapat dibuat dengan perangkat lunak ANSYS, Pro Eng, dan Inventor. Hasil simulasi menunjukkan distribusi kecepatan di dalam pompa hidram dianalisis secara minimum dan maksimum [9]

II. MATERIAL DAN METODE

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur untuk dapat mencari rujukan penelitian, memodifikasi permasalahan, sehingga didapat penelitian yang lebih konfeherensip. Studi literatur diambil dari rujukan jurnal-jurnal yang relevan dengan permasalahan penelitian, jurnal-jurnal yang dijadikan rujukan adalah jurnal-jurnal nasional maupun internasional dalam jangka waktu 5 tahun terakhir. Selain itu juga mengambil rujukan dari buku-buku untuk pendukung teoritis penelitian.

2.1 Material

Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi gambar

Aplikasi yang digunakan dalam desain perancangan adalah aplikasi inventor 2014, gambar dibuat dalam bentuk tiga dimensi kemudian untuk mendapatkan hasil analisis aliran gambar tersebut di *export* ke aplikasi simulasi CFD

2. Aplikasi simulasi

Aplikasi simulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Simulasi CFD 2014, gambar tiga dimensi di *import* ke CFD 2014, sebelum melakukan simulasi, pilih jenis fluida yang akan digunakan, atur mesh secara manual atau otomatis. Simulasi dibuat dalam keadaan *steady state*.

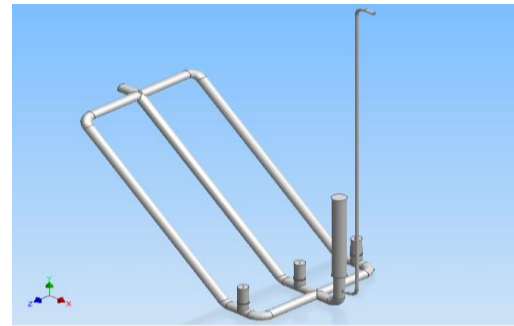
2.2 Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan secara teoritis dan simulasi. Kajian teoritis untuk mendapatkan parameter utama dari pompa hidram dengan berbagai sumber referensi dan literatur. Sedangkan pendekatan secara simulasi dilakukan dengan pembuatan model pompa hidram kemudian disimulasikan dengan simulasi CFD. Hasil simulasi kemudian dianalisis secara teoritis kembali untuk mendapatkan parameter yang diinginkan.

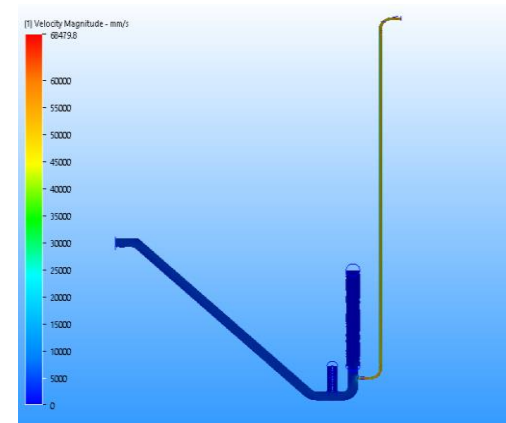
II. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain simulasi

Desain simulasi dibuat dengan aplikasi inventor 2014 kemudian disimulasikan dengan aplikasi simulasi CFD 2014. Simulasi dibuat pada keadaan *steady state* dimana kecepatan masuk dibuat sesuai dengan hasil perhitungan secara numeric.



Gambar 2. View 3 dimensi dari rancangan pompa hidram



Gambar 3. View simulasi CFD dari rancangan pompa hidram

3.2 Analisis numerik

1. Perhitungan aliran air pada pipa penggerak

$$v_{max} = 0,25 \sqrt{2 \times 9,81 \times 2} = 1,566 \text{ m/s}$$

2. Perhitungan head loss mayor

$$H_{lma} = 0,026 \frac{2 \times 1,566^2}{3 \times 2 \times 9,81} = 0,19 \text{ m}$$

3. Perhitungan head loss minor

Nilai K, untuk ujung

penampang pipa : 0.5 m

Nilai K, untuk Gate valve : 0.2 m

Nilai K, untuk belokan pipa 15 : 0.042 m

Nilai K, untuk belokan pipa 15 : 0.042 m

Nilai K, akibat pembesaran penampang pipa : 0.56 m

Nilai K, untuk Tee-junction : 0.1 m

Nilai K, untuk elbow 90 : 0.95 m

Nilai K, akibat pembesaran penampang pipa : 0.56 m

Total : 2.264 m

Sehingga besar *head loss minor* adalah:

$$H_{lmi} = 2,264 \times \frac{(1,566-2)^2}{2 \times 9,81} = 0,071 \text{ m}$$

Sehingga head loss total pada sepanjang saluran pipa penggerak.

$$H_{td} = 0,19 + 0,071 \\ = 0,26 \text{ m}$$

4. Menentukan kecepatan aliran air pada katup tekan

$$v_{max} = 0,25 \sqrt{2 \times 9,81 \times (2 - 0,26)} \\ = 1,46 \text{ m}$$

5. Efisiensi pompa hidram

$$\eta = \frac{7,3 \times 10^{-4} \times 3}{(7,1 \times 10^{-3} + 7,3 \times 10^{-4}) \times 2} \\ = 0,5 \%$$

2.2 Data hasil analisis *numeric* berdasarkan simulasi

Table 1. Hubungna antara kecepatan, head total dan kapasitas

No	Kecepatan m/s	Head total m	Kapasitas m ³ /det
1	1,567	2,27	0,007
2	3,134	2,54	0,014
3	4,701	2,81	0,021

Table 1. Hubungna antara kecepatan, efisiensi dan daya pompa

No	Kecepatan m/s	Efisiensi %	Daya pompa watt
1	1,567	0,56	89,015
2	3,134	1,09	193,87
3	4,701	1,56	306,96

III. KESIMPULAN

Analisis simulasi CFD pada pompa hidram 3 katup menunjukkan peningkatan kecepatan pada diameter keluar, dengan peningkatan kecepatan sebesar 4,701 m/s. Efisiensi yang dicapai berdasarkan analisis numerik sebesar 1,56 % dan daya yang mampu dibangkitkan sebesar 306,96 watt

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Sutanto and M. Wirawan, "Analisa Pengaruh Variasi Susunan Terhadap Kemampuan Unjuk Kerja Pompa Hydram Ditinjau Dari Aspek Tinggi Terjunan Air," *Din. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, 2011, doi: 10.29303/d.v1i1.126.

[2] M. Jafri, A. Banamtuan, J. T. Mesin, and U. N. Cendana, "Analisa Beda Tinggi Katup dan Variasi Diameter Pipa Inlet Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram Ukuran Dua Inchi," vol. 03, no. 01, pp. 75–80, 2016.

[3] I. H. S. Mukhammad Sofwan, "Pengaruh Ketinggian Terjunan Dan Volume Tabung Udara

Terhadap Kinerja Pompa Hidram," *JTM.*, vol. 03, pp. 16–24, 2015.

[4] Daniel ortega Panjaitan and T. Sitepu, "Rancang Bangun Pompa Hidram Dan Pengujian Pengaruh Variasi Tinggi Tabung Udara Dan Panjang Pipa Pemasukan Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram," *e-Dinamis*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2012.

[5] I. H. S. Setyawan, Aris Eko, "Pengaruh Berat Katup Limbah Dan Ketinggian Discharge Terhadap Kinerja Pompa Hidram" *JTM*, 2015.

[6] K. Wardani, "Analisa unjuk kerja alat pembagi tekan pada pompa hydram," *Din. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, p. 118, 2019, doi: 10.29303/dtm.v9i2.287.

[7] K. W. Nurchayati, Arif Mulyanto, Rudy Sutanto, "Pengaruh Variasi Tinggi Terjunan Dan Dimensi Tabung Kompresor Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hydram," *Mesin*, vol. 26, no. 2, pp. 91–101, 2017, doi: 10.5614/mesin.2017.26.2.4.

[8] H. M. Marbun and M. Hazwi, "Simulasi Aliran Fluida Pada Pompa Hidram Dengan TINGGI AIR JATUH 2.3 M DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CFD," *J. e-Dinamis*, vol. 7, no. 3, pp. 136–145, 2013.

[9] M. N. Harith, R. A. Bakar, D. Ramasamy, and M. Quanjn, "A significant effect on flow analysis & simulation study of improve design hydraulic pump," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 257, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/257/1/012076.

[10] V. Dirisala, "Performance analysis of centrifugal pump by using CFD," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 10, pp. 474–483, 2017.

[11] W. Asvapoositkul, J. Juruta, N. Tabtimhin, and Y. Limpongsa, "Determination of Hydraulic Ram Pump Performance: Experimental Results," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/9702183.

[12] X. Guo *et al.*, "Optimal design and performance analysis of hydraulic ram pump system," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, vol. 232, no. 7, pp. 841–855, 2018, doi: 10.1177/0957650918756761.

[13] S. Dharma, "Rancang Bangun Pompa Hidraulik Ram (Hidram)," 2013, [Online]. Available: <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/18156>.

[14] N. S. M. Hussin *et al.*, "Design and analysis of hydraulic ram water pumping system," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 908, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/908/1/012052.

- [15] S. Sheikh, C. C. Handa, and A. P. Ninawe, "Design Methodology for Hydraulic Ram Pump (Hydram)," *Int. J. Mech. Eng. Rob. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 170–175, 2013, doi: 10.15680/IJIRSET.2016.0504018.
- [16] M. Suarda and I. N. Suarnadwipa, "Perancangan dan Pengujian Katup Membran pada Katup Tekan Pompa Hidram," *Univ. UDAYANA*, p. 42, 2012.