

SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD) ALIRAN FLUIDA PADA POMPA HIDRAM

Binanda Braja Mahendra S^a, Sukamta^{1,b}, Krisdiyanto^c,
 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
^abinandabraja123@gmail.com, ^bm.sukamta@gmail.com, ^ckrisdiyanto@umy.ac.id

Abstrak

Pompa hidram memanfaatkan energi tumbukan dari air secara terus-menerus. Energi dari tumbukan tersebut digunakan untuk memompa air, sehingga pompa hidram tidak membutuhkan energi dari luar. Aliran fluida pada pompa hidram perlu dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik aliran berupa *pressure*, *velocity* dan *streamline*. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang tepat agar pompa hidram dapat menghasilkan tekanan yang sesuai dengan head pompa yang sudah ditentukan. Metode penelitian yang tepat, salah satunya dengan sistem komputasi atau yang biasa dikenal dengan istilah *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD sangat cocok digunakan untuk melakukan analisis terhadap sebuah sistem yang rumit dan sulit dipecahkan dengan perhitungan manual. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi pada pompa hidram dengan simulasi numerik menggunakan *software ANSYS Fluent 19 R2 academic*. Simulasi ini dilakukan pada pompa hidram 3 dimensi dengan diameter tabung 8 *inch* dan panjang pelesat 7,3 m. Model katup pengantar yang digunakan pada simulasi berupa silinder pejal, pergerakan katup pengantar dijalankan menggunakan *profile*. Simulasi pada kondisi *transient* dengan *metode layering dynamic mesh*. Karakteristik aliran fluida yang terjadi pada pompa hidram, kontur tekanan yang terjadi tidak merata. Tekanan didaerah badan pompa lebih tinggi daripada didaerah tabung, perbedaan tekanan tersebut disebabkan oleh pergerakan katup dan diameter pipa yang berbeda. kecepatan aliran yang terjadi sangat berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan, saat kecepatan aliran fluida pada pompa hidram mengalami peningkatan tekanan yang terjadi mengalami penurunan.
 Kata kunci : Pompa hidram, CFD, *ANSYS Fluent*, Aliran Fluida.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok makhluk hidup termasuk manusia. Air memiliki peran penting dalam kelangsungan hidup manusia, seperti memenuhi kebutuhan rumah tangga, irigasi pertanian, irigasi perikanan, dan kebutuhan lainnya. Daerah pedesaan masih mengalami kesulitan dalam memenuhi kebutuhan air, terutama daerah yang memiliki geografis lebih tinggi dibandingkan sumber air nya

Pompa merupakan solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan air. Jenis pompa yang biasa digunakan adalah pompa listrik konvensional yang menggunakan motor listrik sebagai sumber tenaganya. Pompa konvensional tidak efisien dan ekonomis jika digunakan di daerah yang sumber energi listriknya terbatas sehingga diperlukan pompa dengan biaya operasional nya murah dan perawatannya juga mudah.

Pompa konvensional atau pompa listrik teknologinya dibatasi oleh biaya perawatan yang tinggi dan penggunaan listrik yang besar. Pompa sistem konvensional juga membutuhkan pemantauan khusus oleh orang yang mempunyai keahlian untuk menanganinya. Mengatasi hal tersebut diperlukan pompa tanpa menggunakan motor, sehingga tidak membutuhkan energi listrik. Pompa yang tidak membutuhkan energi listrik sebagai sumber tenaganya adalah pompa hidram. Pompa hidram merupakan pompa ramah lingkungan dibandingkan dengan pompa konvensional atau pompa energi berbasis bahan bakar fosil. Air limbah dari pompa hidram dapat dengan mudah di dimanfaatkan kembali kedalam *reservoir*.

Pompa hidram memanfaatkan tekanan air sebagai sumber tenaga. Prinsip kerja pompa hidram menggunakan pemanfaatan gravitasi dimana akan menciptakan energi dari hantaman air yang kemudian mendorong air ke tempat yang lebih tinggi. Menurut Widiarto dan Sudarto. (1996) untuk mendapatkan energi potensial dari hantaman air diperlukan syarat utama yaitu harus ada terjunan air yang dialirkan melalui pipa miring atau *penstock* dengan beda tinggi elevasi dengan pompa hidram minimal 1 m. [1]

Aliran fluida pada pompa hidram perlu dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi. Menganalisis aliran fluida pada pompa hidram salah satunya dapat menggunakan metode berbasis komputer. Hasil dari simulasi menggunakan metode berbasis komputer dapat dilakukan analisis untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam sistem aliran fluida pada pompa hidram yang dirancang. Metode berbasis komputer yang dapat digunakan untuk simulasi aliran fluida salah satunya CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

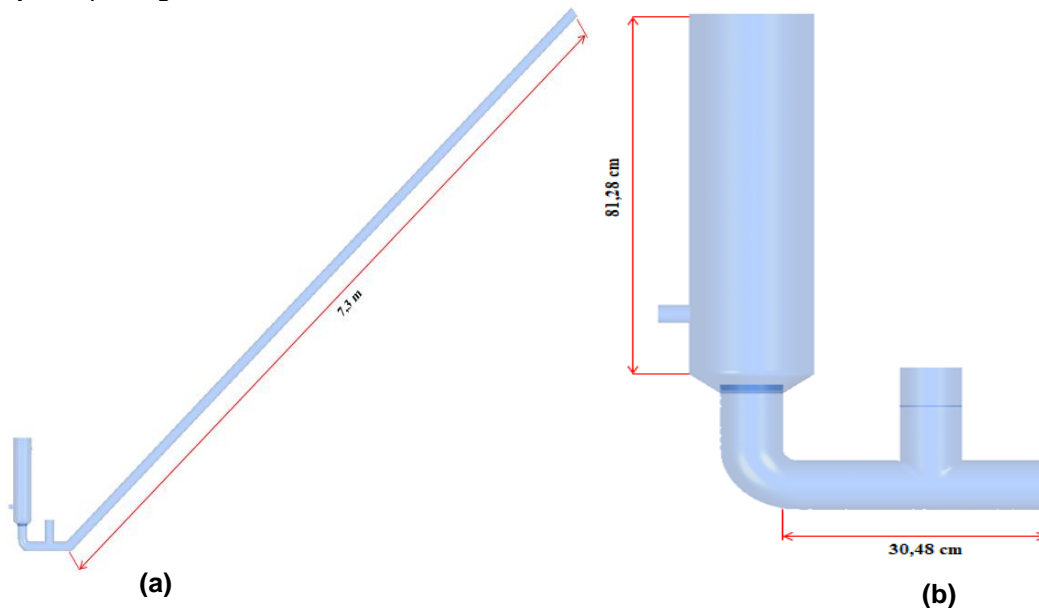
CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dapat menganalisa tentang proses aliran fluida yang terjadi. Data yang didapat bisa lebih akurat dan mempersingkat waktu. Hasil CFD menghasilkan data berupa kontur, grafik, kurva, vektor dan animasi yang menunjukkan karakteristik dari suatu aliran fluida.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Marbun & Hazwi. (2013) melakukan CFD aliran fluida pada pompa hidram dengan tinggi air jatuh 2,3 m. Simulasi yang digunakan adalah untuk aliran *steady*, *inkompresible*, turbulen dan geometri yang digunakan pada penelitian tersebut geometri 3 tiga dimensi. Hasil simulasi dilakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Hasil simulasi didapat penyimpangan terendah sebesar 0,78 % dan penyimpangan tertinggi sebesar 9,19 %. [2]

Penelitian CFD pada aliran fluida pada pompa hidram menggunakan *software ANSYS Fluent 19 R2 Academic*. Penelitian ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi pada pompa hidram yang sudah dirancang. Data hasil simulasi tersebut dapat dilakukan analisis untuk mendapatkan efisiensi dan inovasi yang lebih baik untuk mencapai hasil yang optimal.

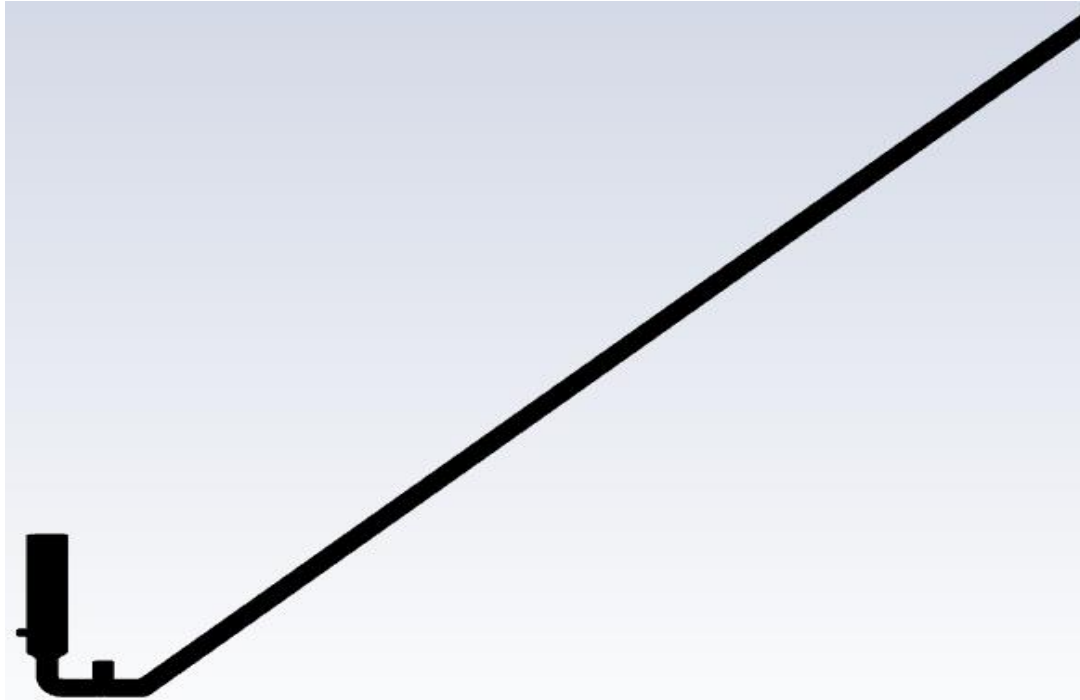
2. METODE

Simulasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *Ansys Fluent* pada kondisi *transient*. Geometri pompa hidram digambar dengan skala 1:1. Penelitian ini menggunakan bahan berupa geometri pompa hidram dalam bentuk 3 dimensi CAD. Berikut ini gambar geometri 3 dimensi pompa hidram. Geometri pada penelitian ini berupa pompa hidram dengan panjang pada pipa miring 7,3 m, diameter tabung 8 *inch*, diameter pipa 4 *inch* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

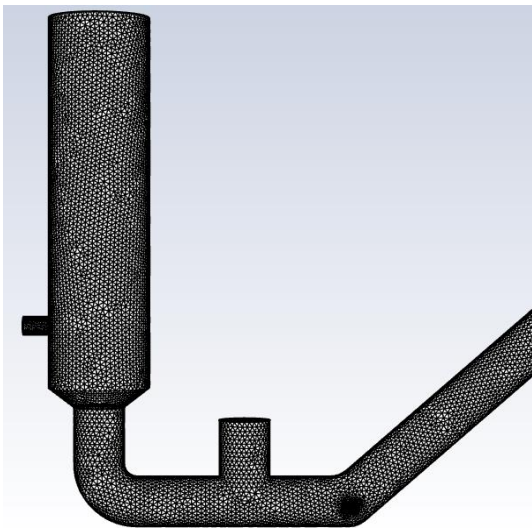


Gambar 2.1 (a). Geometri Pompa Hidram dan Pipa Pelesat, (b). Geometri Pompa Hidram

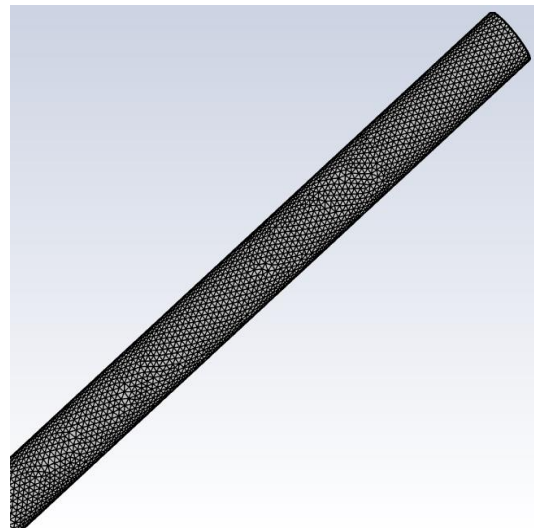
Mesh yang digunakan pada simulasi ini menggunakan jenis *tetrahedral mesh*, *refinement mesh* dilakukan menggunakan metode *body influence* serta penerapan *y+* atau *inflation* diseluruh geometri pompa hidram untuk mendapatkan hasil yang baik didaerah sekitar *wall*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Simulasi menggunakan model *viscous k-omega standart* dijalankan dalam kondisi *transient* dan *solution scheme* menggunakan jenis *Coupled*, dengan debit aliran pada sisi masuk sebesar 6.01 liter/detik.



(a)



(b)



(c)

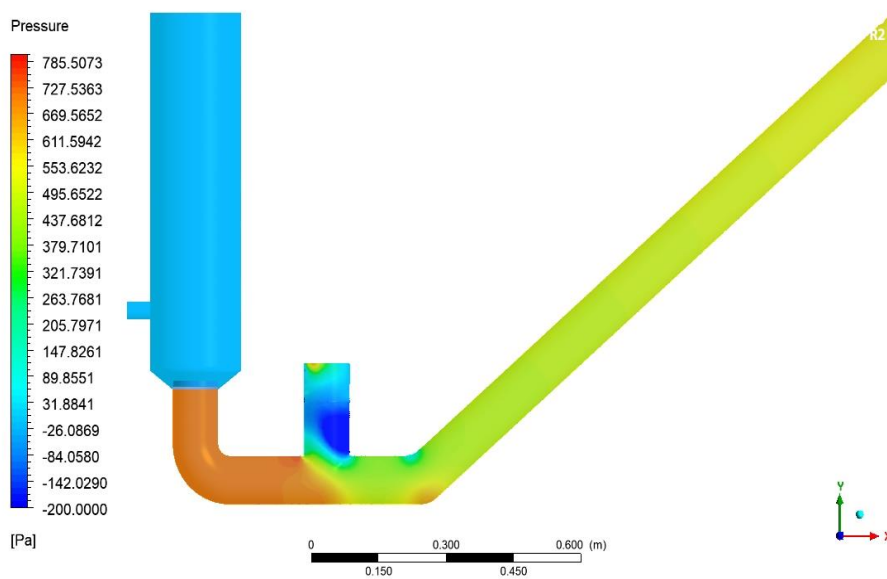
Gambar 2.2 (a). *Mesh* pada geometri keseluruhan, (b). *Mesh* pada pompa hidram, (c). *Mesh* pada pipa pelesat

Parameter waktu turut diperhitungkan dalam simulasi ini sehingga simulasi akan terus berjalan hingga waktu yang telah ditentukan. Waktu simulasi yang digunakan pada penelitian adalah 4 detik. Waktu simulasi mengacu pada pergerakan katup pengantar dan katup buang. Pergerakan maksimal dari katup pengantar yaitu setinggi satu 1 cm baik dalam kondisi terbuka maupun kondisi tertutup. Pergerakan maksimal pada katup buang yaitu setinggi 8 cm baik dalam kondisi terbuka maupun kondisi tertutup. Parameter data dari katup pompa hidram didapatkan dari pergerakan katup pompa hidram yang sudah di rancang. Pergerakan katup pada pompa hidram dijalankan menggunakan *layering dynamic mesh* dengan *setting* pergerakan menggunakan *profile*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

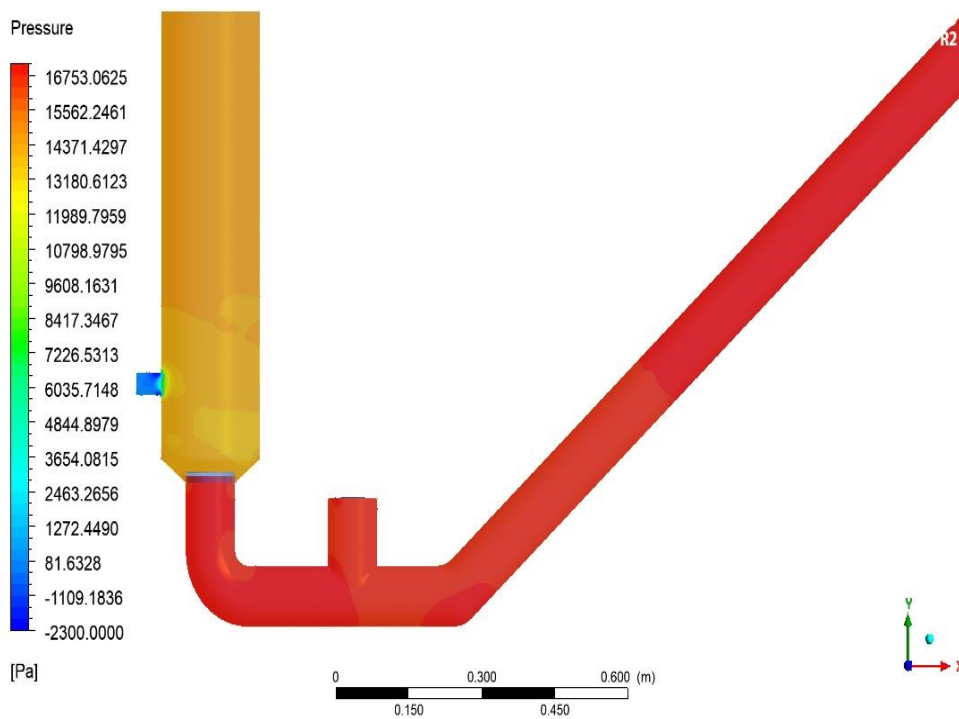
Setelah proses simulasi dilakukan, tahap selanjutnya adalah *post processing* untuk memperoleh karakteristik aliran fluida pada pompa hidram meliputi tekanan, kecepatan, *streamline* dan nilai force pada katup pengantar.

Tekanan yang dihasilkan pada kondisi katup buang terbuka 8 cm, badan pompa hidram mengalami penurunan tekanan disebabkan oleh aliran fluida mangalami peningkatan seiiring katup buang terbuka. Tekanan pada tabung pompa hidram terdistribusi rata tidak mengalami peningkatan diakibatkan oleh katup pengantar masih tertutup sehingga aliran ke tabung pompa hidram masih mampat seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



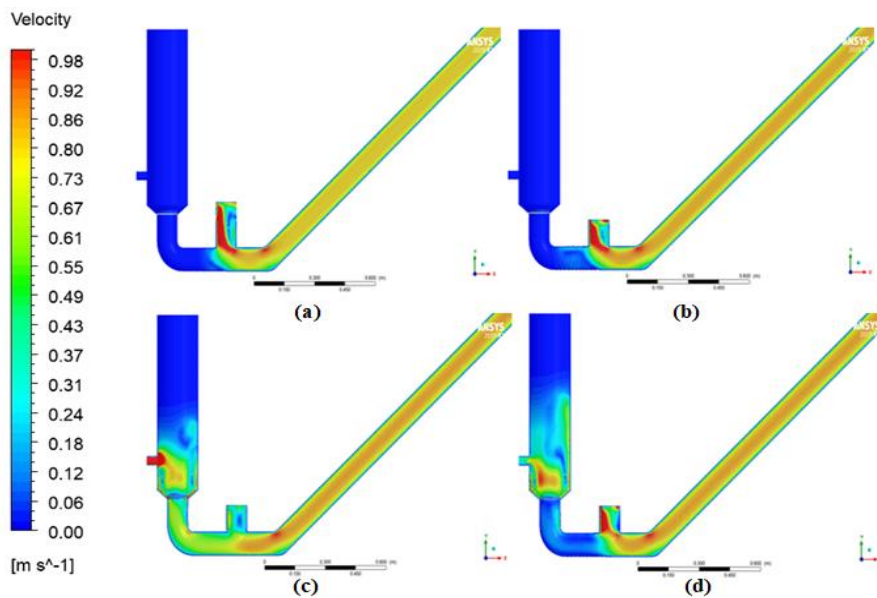
Gambar 3.1 Kontur *Pressure* Kondisi Katup Buang Terbuka 8 cm

Hasil simulasi pada gambar 3.2 kondisi katup pengantar terbuka 1 cm menunjukkan peningkatan tekanan pada tabung pompa hidram. Peningkatan tekanan pada tabung pompa hidram disebabkan oleh *kompresi* saat katup buang tertutup, kemudian terjadi palu air yang menyebabkan katup pengantar terbuka. Katup pengantar terbuka menyebabkan tekanan pada badan pompa terdistribusi ke tabung pompa hidram.



Gambar 3.2 Kontur *Pressure* Kondisi Katup Pengantar Terbuka 8 cm

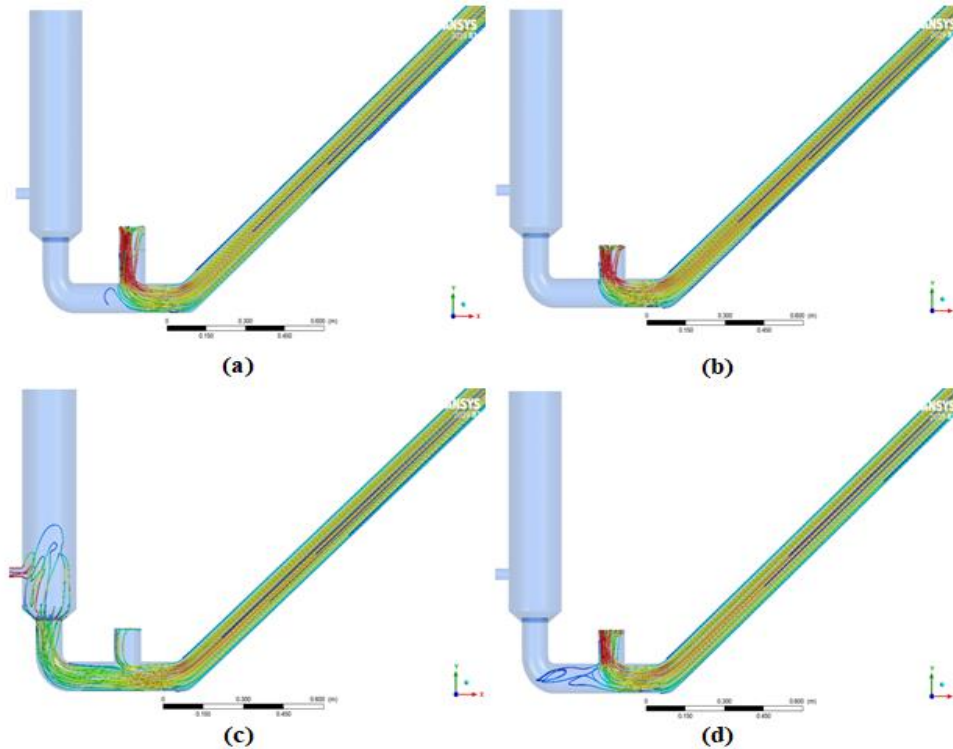
Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada pompa hidram mengalami peningkatan hingga mencapai kecepatan maksimumnya. Kecepatan aliran tersebut menghasilkan gaya dorong yang menyebabkan katup buang terbuka seiring bertambahnya kecepatan aliran seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 kondisi katup buang terbuka 8 cm.



Gambar 3.3 (a). Katup buang terbuka 8 cm, (b). Katup buang tertutup 8 cm, (c). Katup pengantar terbuka 1 cm, (d). Katup pengantar tertutup 1 cm.

Katup buang terbuka menyebabkan tekanan pada badan pompa hidram mengalami penurunan sehingga katup buang tertutup. Katup buang terbuka kemudian katup buang tertutup

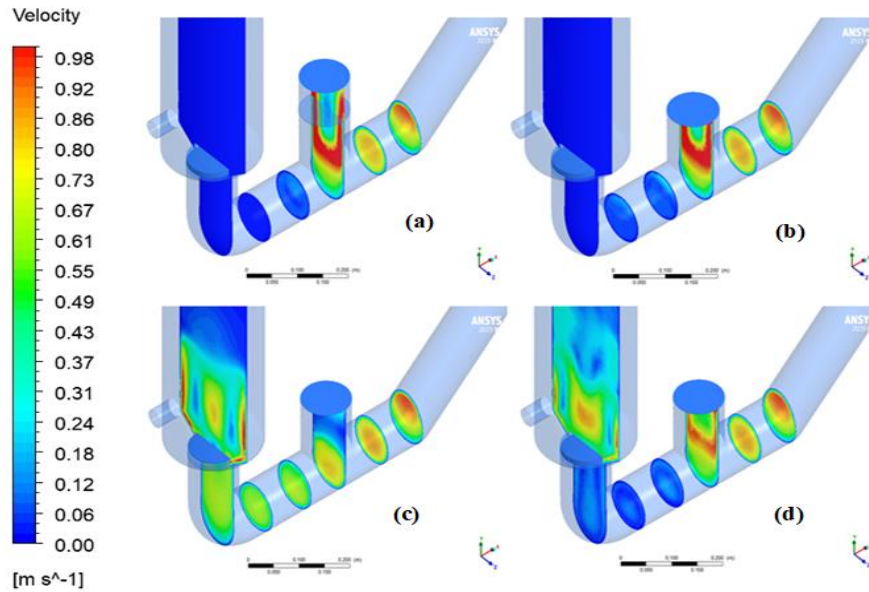
terjadi *kompresi* yang menyebabkan katup pengantar terbuka seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 katup pengantar terbuka 1 cm.



Gambar 3.4 Katup buang terbuka 8 cm, (b). Katup buang tertutup 8 cm, (c). Katup pengantar terbuka 1 cm, (d). Katup pengantar tertutup 1 cm.

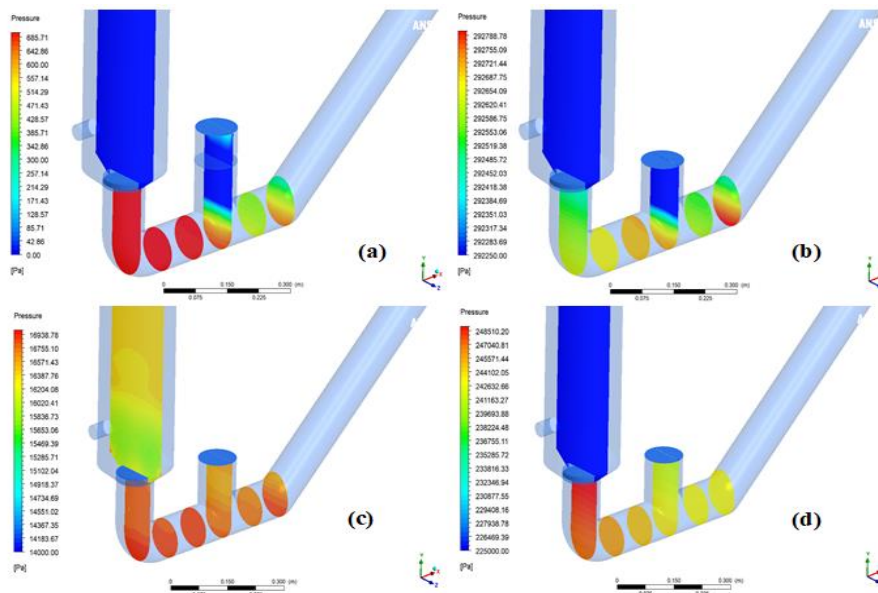
Hasil simulasi pada gambar 3.4 menunjukkan pergerakan fluida pada pompa hidram yang di aplikasikan melalui *streamline*. Gambar 3.4 menggambarkan tentang pergerakan fluida mulai dari kondisi katup buang terbuka, katup buang tertutup, katup pengantar terbuka dan katup pengantar tertutup. Sehingga dapat dilihat dari hasil simulasi bahwa kecepatan dari aliran fluida tersebut yang menyebabkan katup buang dan katup pengantar terbuka.

Observasi lebih lanjut kemudian dilakukan dengan membuat kontur pada tiap bagian badan pompa hidram dan tabung udara untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran terhadap tekanan yang dihasilkan. Gambar 3.5 dan gambar 3.6 memperlihatkan kecepatan aliran yang dihasilkan oleh pompa hidram berbanding terbalik dengan tekanan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat katup buang terbuka kecepatan alirannya mengalami peningkatan dan tekanan yang dihasilkan mengalami penurunan secara bertahap.



Gambar 3.5 (a). Katup buang terbuka 8 cm, (b). Katup buang tertutup 8 cm, (c). Katup pengantar terbuka 1 cm, (d). Katup pengantar tertutup 1 cm.

Gambar 3.5 kondisi katup buang terbuka 8 cm terlihat bahwa kecepatan aliran kearah katup buang terjadi peningkatan kecepatan yang signifikan, sehingga dapat dilihat kecepatan aliran tersebut menghasilkan gaya dorong yang menyebabkan katup buang terbuka. Pada kondisi katup buang terbuka 8 cm menunjukkan kecepatan nya mengalami peningkatan, kondisi tekanan yang dihasilkan mengalami penurunan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6 kondisi katup buang terbuka 8 cm.

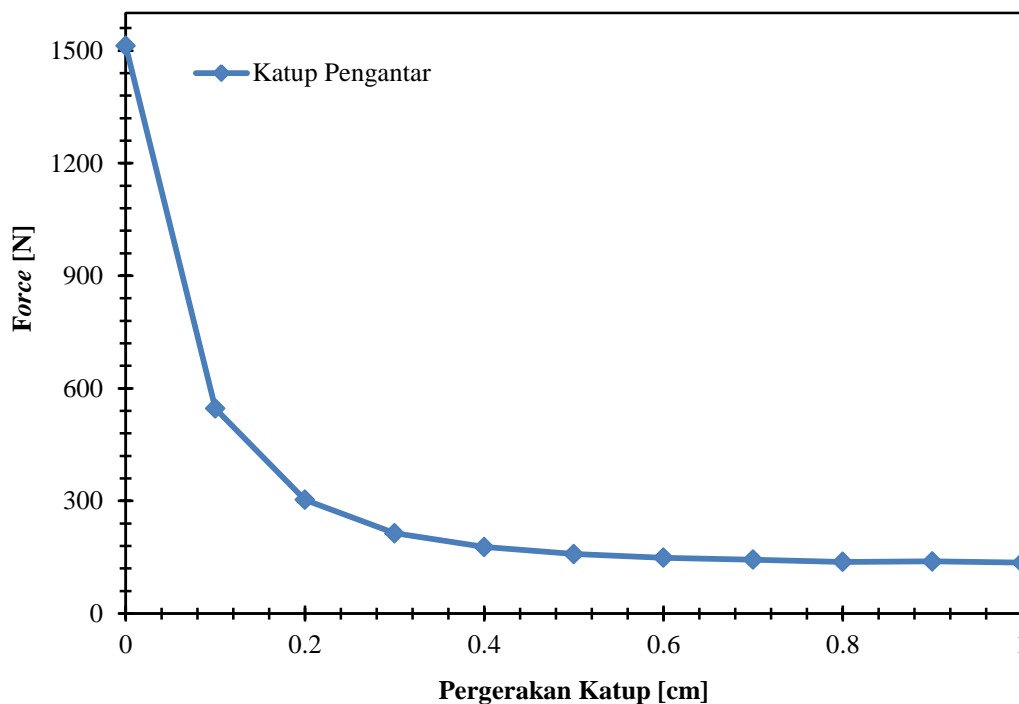


Gambar 3.6 (a). Katup buang terbuka 8 cm, (b). Katup buang tertutup 8 cm, (c). Katup pengantar terbuka 1 cm, (d). Katup pengantar tertutup 1 cm.

Hasil simulasi pada gambar 3.5 dan gambar 3.6 menunjukkan bahwa siklus pada pompa hidram adalah peningkatan kecepatan aliran fluida, sehingga menyebabkan katup buang terbuka. Katup buang terbuka tekanan pada pompa hidram mengalami penurunan sehingga katup limbah tertutup secara perlahan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Tekanan pada

pompa hidram mengalami peningkatan pada saat katup buang tertutup sehingga terjadi *kompresi* menyebabkan katup pengantar terbuka.

Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *force* ketika katup pengantar pada pompa hidram mulai mengalami pergerakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Gambar 3.7 dapat diketahui nilai *force* tertinggi terjadi pada saat katup pengantar belum mengalami pergerakan sebesar 1512,86 N dan nilai *force* terendah berada pada saat katup pengantar mengalami pergerakan sejauh 1 cm sebesar 135,467 N.



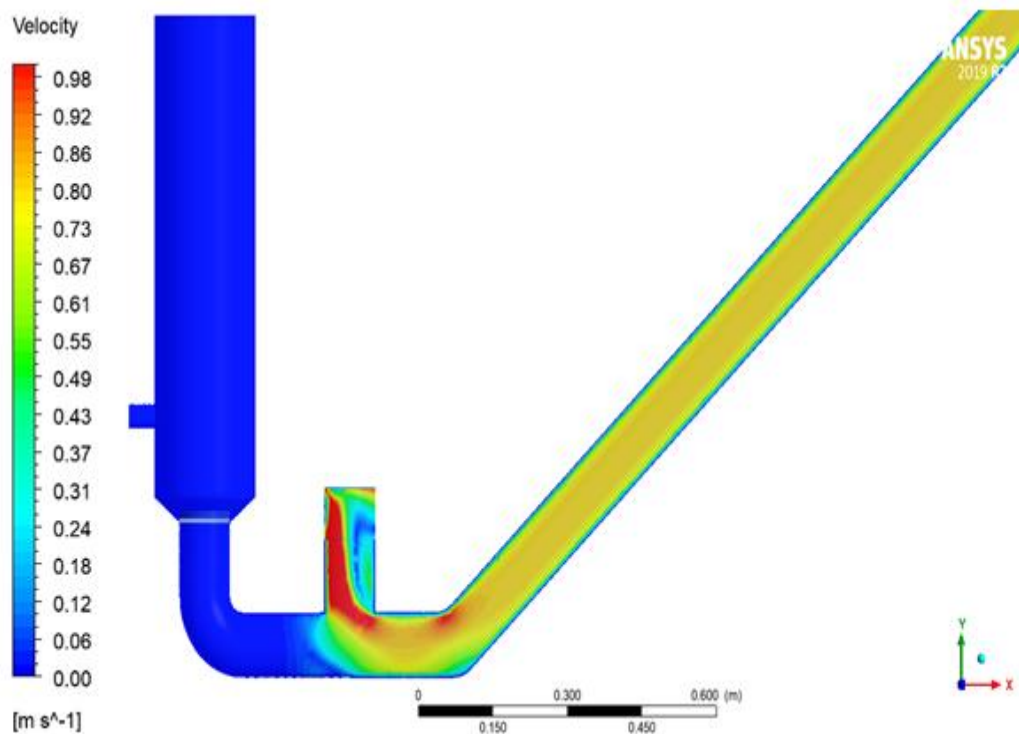
Gambar 3.7 Grafik Nilai *Force* per setiap Pergerakan Katup Pengantar

Nilai *force* pada katup pengantar mengalami penurunan diakibatkan oleh pengaruh antara tekanan dan kecepatan aliran fluida. Tekanan pada badan pompa akan mengalami penurunan seiring terbukanya katup pengantar sehingga aliran fluida nya mengalami peningkatan menyebabkan nilai *force* pada katup pengantar mengalami penurunan.

Nilai *force* yang dihasilkan oleh kecepatan aliran fluida digunakan untuk mengetahui pengaruh penerapan katup pengantar pada pompa hidram. Tumbukan antara fluida yang mengalir dengan katup pengantar secara berulang-ulang akan mengakibatkan katup pengantar mengalami kerusakan. Nilai *force* ini bisa dijadikan acuan untuk memilih bahan yang tepat untuk pembuatan katup pengantar yang dapat menahan *force* maksimal yang ditimbulkan dari aliran fluida.

Validasi pada penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan secara teoritis dengan simulasi numerik menggunakan *ANSYS Fluent 19 R2 academic*. Validasi dilakukan pada kecepatan aliran katup buang terbuka 8 cm, tekanan pada katup buang terbuka 8 cm.

Hasil simulasi numerik dengan metode iterasi menggunakan *ANSYS Fluent 19 R2*, didapatkan hasil dari kontur kecepatan katup buang terbuka 8 cm seperti ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Kontur *velocity* pada katup buang terbuka 8 cm

Hasil kecepatan pada katup buang yang didapat dari perhitungan dengan asumsi fluida bersifat *incompressible*. kecepatan aliran fluida pada pompa hidram dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$v_1 = \frac{Q}{A}$$

Dimana, Q = Debit aliran fluida (0,00601 m³/s)
 A = Luas Penampang (0,008107 m²)

$$v_1 = \frac{0,00601}{0,008107}$$

$$v_1 = 0,741 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \times g \times (h_1 - h_2)}$$

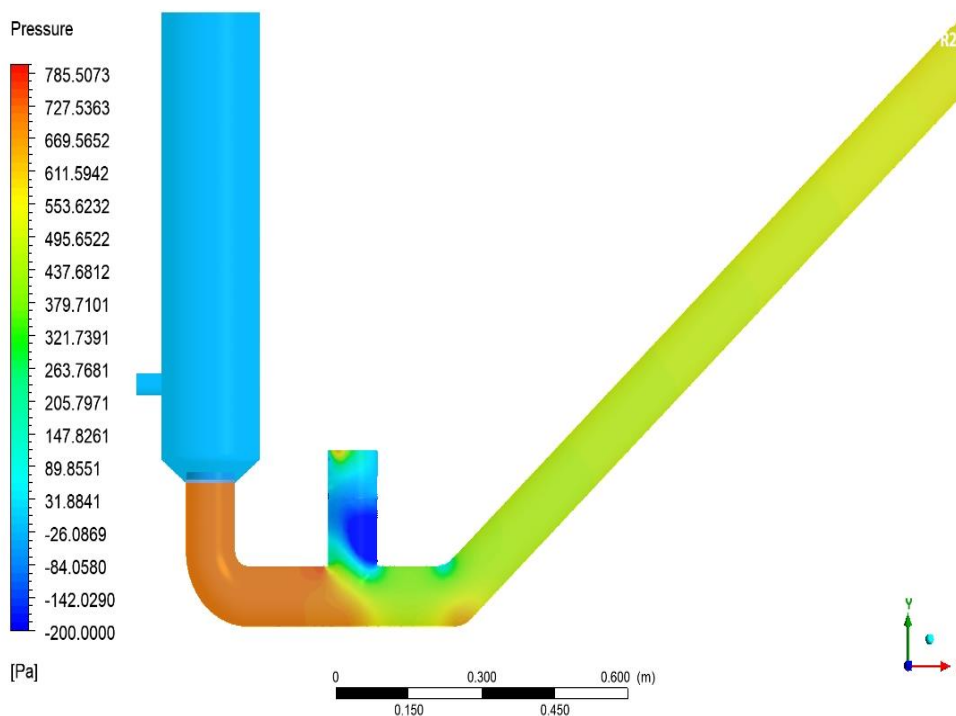
Dimana, v_1 = Kecepatan aliran fluida pada inlet (0,741 m/s)
 g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
 h_1 = Ketinggian aliran fluida pada pipa pelesat (4,789 m)
 h_2 = Ketinggian aliran fluida pada katup buang (0 m)

$$v_2 = \sqrt{0,741^2 + 2 \times 9,81 \times (4,789 - 0)}$$

$$v_2 = 9,731 \text{ m/s}$$

Hasil perhitungan teoritis dan simulasi numerik *ANSYS Fluent 19 R2 academic* terdapat perbedaan. Hasil perhitungan menggunakan data sesuai dengan data eksperimen hasilnya 9,731 m/s sedangkan hasil kecepatan maksimal pada katup buang pompa hidram menggunakan simulasi numerik hasilnya 7,843 m/s.

Hasil simulasi numerik dengan metode iterasi menggunakan ANSYS Fluent 19 R2 academic, didapatkan hasil tekanan pada katup buang terbuka 1 cm seperti ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kontur tekanan pada katup buang terbuka 8 cm

Hasil tekanan pada pompa hidram didapat dari perhitungan dengan asumsi fluida bersifat *incompressible*. Tekanan pada pompa hidram dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1}{2} \times (V_2^2 - V_1^2) + g \times (h_2 - h_1)$$

Dimana, ΔP = Perbedaan tekanan (Pa)

v_1 = Kecepatan aliran fluida pada inlet (0,741 m/s)

v_2 = Kecepatan aliran fluida pada pompa hidram (9,731 m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

h_1 = Ketinggian aliran fluida pada pipa pelesat (4,789 m)

h_2 = Ketinggian aliran fluida pada badan pompa (0 m)

ρ = Massa jenis air (997 kg/m³)

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1}{2} \times (9,731^2 - 0,741^2) + 9,81 \times (0 - 4,789)$$

$$\frac{\Delta P}{997} = 0,09091$$

$$\Delta P = 90,637 \text{ Pa}$$

Hasil perhitungan teoritis dan simulasi numerik terdapat perbedaan tetapi tidak signifikan. Hasil perhitungan menggunakan data sesuai dengan data eksperimen hasilnya 90,637 Pa sedangkan hasil tekanan rata-rata pada badan pompa hidram menggunakan simulasi numerik hasilnya 89,855 Pa.

4. KESIMPULAN

Karakteristik aliran fluida yang terjadi pada pompa hidram, kontur tekanan yang terjadi tidak merata. Tekanan didaerah badan pompa lebih tinggi daripada didaerah tabung, perbedaan tekanan tersebut disebabkan oleh pergerakan katup dan diameter pipa yang berbeda. Kecepatan aliran yang terjadi sangat berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan, saat kecepatan aliran fluida pada pompa hidram mengalami peningkatan tekanan yang terjadi mengalami penurunan. Nilai *force* pada katup pengantar pompa hidram mengalami penurunan seiring dengan pergerakan katup. Nilai *force* tertinggi pada saat katup pengantar belum mengalami pergerakan sebesar 1512,86 N dan nilai *force* terendah berada pada saat katup pengantar mengalami pergerakan sejauh 1 cm sebesar 135,467 N. Hasil validasi pada kecepatan menggunakan perhitungan sesuai dengan data eksperimen hasilnya 9,731 m/s sedangkan simulasi numerik hasilnya 7,843 m/s. Tekanan pada pompa hidram pada perhitungan hasilnya 90,637 Pa sedangkan menggunakan simulasi numerik hasilnya 89,855 Pa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widarto dan Sudarto 1997. *Membuat Pompa Hidram*. Kanisius, Jakarta.
- [2] Marbun & Hazwi. (2013). Simulasi Aliran Fluida pada Pompa Hidram dengan Tinggi Air Jatuh 2,3 M dengan Menggunakan Perangkat Lunak CFD. *Jurnal e-Dinamis*. Vol 7 (3). Hal 136-145.
- [3] Piyush B. Shende, D.K Choundary, A.P.Ninawe. (2015). Analysis And Enhancement of Hydraulic Ram Pump Using Computational Fluid Dynamics (CFD). *International Journal For Innovative Research In Science And Technology*, 2 (3), 109-133.