

Simulasi Pola Aliran Pada Pipa *Suction* Pompa Sentrifugal Dengan CFD Untuk Deteksi Kavitasasi

Ibnu Hajar

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bengkalis
Jl. Batin Alam, Sei Alam, Bengkalis (28711) Riau
ibnuhajar@polbeng.ac.id

Abstrak

Pola aliran dalam pompa sentrifugal merupakan aliran pusaran (*pulsating*) yang mengalir di dalam pipa *suction* yang mengalami perubahan mendadak, hal ini bisa diakibatkan oleh pengecilan saluran atau pemasangan katup, dan *elbow* yang kemudian terjadi ketidakstabilan atau fluktuasi yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran akibat turbulensi aliran, hal ini sangat rawan terhadap terjadinya kerusakan pada impeler, dimana salah satu penyebab kerusakan tersebut akibat kavitasasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pola aliran pada pipa *suction* dan pompa sentrifugal berbasis simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Metode dengan pembuatan model berdasarkan *Autocad 2010* dan simulasi CFD menggunakan *FLUENT 6.12 Academic lisensi* Jurusan Teknik Mesin USU. Untuk mempermudah proses simulasi maka langkah pertama yang harus dilakukan dengan pemodelan dan selanjutnya menentukan parameter penyelesaian serta menjalankan simulasi. Pengamatan pola aliran pada pipa *suction* dengan kecepatan aliran 1,39, 1,49, 1,58 dan 1,67 m/s pada bukaan katup isap 20%, 40%, 60% dan 80%. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan diperoleh pola aliran dominan pada pipa *suction* yang akan menyebabkan kavitasasi pada pompa sentrifugal pada bukaan katup 60 % dengan *Contours of Turbulent Kinetic Energy* 1,19 m²/s² dan bukaan katup 80% dengan *Contours of Turbulent Kinetic Energy* 4,32 m²/s² dan jika dilihat pada pompa sentrifugal distribusi tekanan fluida tertinggi adalah 3,55 x 10⁻⁶ m/s, dan kecepatan paling rendah dalam pipa -1,20 x10⁷ m/s yang kemungkinan terjadi kavitasasi pada impeler pompa. Berdasarkan tingkat kecepatan yang diperoleh, hasil simulasi ini dapat digunakan untuk mendeteksi kavitasasi pada pompa sentrifugal.

Kata kunci: Simulasi, pola aliran, pompa sentrifugal, pipa *suction*

Abstract

The flow pattern in the centrifugal pump is the flow of pulsating flow in the pipe suction which undergoes abrupt change, this may be caused by channel dewatering or valve installation, and elbow which then occurs instability or fluctuation that is influenced by flow velocity due to turbulent flow, It is very prone to damage to the impeller, where one of the causes of the damage is due to cavitation. The purpose of this research is to know the characteristic of flow pattern in suction pipe and CFD (Computational Fluid Dynamics) centrifugal pump. Methode used *Autocad 2010* and CFD simulations of *FLUENT 6.12* by USU Mechanical Engineering. To simplify the simulation process used modeling then determine the completion parameters and run the simulation. Observation of flow pattern on suction pipe with flow velocity 1,39, 1,49, 1,58 and 1,67 m/s at suction opening of 20%, 40%, 60% and 80%. From the simulation results, the dominant flow pattern in the suction pipe that will cause the cavitation of centrifugal pump at the opening of 60% valve with 1.19 m²/s² Kinetic Energy *Contours of Turbulent* and 80% valve opening with *Contours of Turbulent Kinetic Energy* 4,32 m²/s² and when viewed on the centrifugal pump the highest fluid pressure distribution is 3.55 x 10⁻⁶ m/s, and the lowest velocity in the 1.20 x10⁷ m/s pipeline is likely to occur in the pump impeller. Based on the rate of speed obtained, these simulation results can be used to detect cavitation on a centrifugal pump.

Keywords : Simulation, flow pattern, centrifugal pump, pipe suction

PENDAHULUAN

Pola aliran dalam pompa sentrifugal

merupakan aliran pusaran (*pulsating*) yang mengalir di dalam pipa yang mengalami

perubahan mendadak, hal ini bisa diakibatkan oleh pengecilan saluran atau pemasangan elbow, dan sambungan yang kemudian terjadi ketidakstabilan atau fluktuasi yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran akibat turbulensi, hal ini sangat rawan terhadap terjadinya kerusakan pada impeller, dimana salah satu penyebab kerusakan tersebut akibat kavitasi.

Dalam penelitian sebelumnya, pola aliran didalam pompa sentrifugal sudah mulai dipelajari, tetapi perhatian lebih difokuskan pada aliran dalam pipa yang disebabkan munculnya gelembung disekitar sambungan pipa dan menggunakan fluida air dan udara.

Ridwan *et al*, (2002), telah menguji aliran *vortex* pada membesarkan saluran pipa, hasil penelitian menunjukkan wilayah medan aliran yang berpusar pada daerah pembesaran mendadak akan semakin luas seiring dengan besarnya perbandingan diameter pipa.

Ibnu H *et al* (2010), telah melakukan penelitian terhadap pola aliran pada pipa isap pompa sentrifugal secara eksperimental menggunakan pipa transparan dengan pemantauan tekanan fluida masuk dinamik pada sisi *suction* pompa dan pengukuran sinyal getaran pada rumah pompa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan pola aliran dipengaruhi oleh penurunan tekanan isap dan kecepatan aliran meningkat, perubahan pola aliran teramati secara visual menggunakan kamera digital dan sinyal getaran akan meningkat sewaktu terjadi turbulensi aliran dalam pipa.

Demikian halnya untuk mengamati pola aliran didalam pompa secara visual juga sulit dilakukan mengingat struktur *casing* pompa yang terbuat dari besi coran sehingga membutuhkan penanganan yang lebih khusus. Salah satu cara yang dapat diterapkan untuk mengetahui karakteristik pola aliran didalam pompa secara menyeluruh adalah dengan menggunakan perangkat komputer CFD.

Pemecahan masalah menggunakan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode perhitungan manual lainnya, yakni dengan metode eksperimental perhitungan manual menggunakan komputer.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pola aliran pada pipa *suction* dan impeller pompa sentrifugal untuk deteksi kavitasi berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Orientasi pengujian meliputi

bukaan katup isap 20 %, 40%, 60% dan 80% dengan mengamati pola aliran dalam pipa *suction*.

Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa yang paling banyak dipakai oleh industri, terutama industri pengolahan dan pendistribusian air. Banyak pompa sentrifugal di desain dengan cara memungkinkan pompa beroperasi secara terus menerus untuk berbulan-bulan bahkan tahunan. Beberapa keunggulan pompa sentrifugal adalah harga yang relatif murah, konstruksi pompa sederhana, mudah pemasangan dan perawatan, kapasitas dan *head* yang tinggi, kehandalan dan ketahanan yang tinggi.(Jeremy J. Kenwood . 2000,. Karassik, Center. 1960, L.Tobing Eben H.2010).

Aliran fluida didalam pipa pada kenyataannya mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui fluida tersebut. Secara teoritis, hal ini disebabkan karena fluida yang mengalir memiliki viskositas yang menyebabkan timbulnya gaya geser yang sifatnya menghambat. Hambatan aliran akan menyebabkan turunya energi dari fluida tersebut yang sering juga disebut dengan kerugian tinggi tekan (*head loss*) atau penurunan tekanan (*pressure drop*). Pada pompa sentrifugal penurunan tekanan dan perubahan kecepatan aliran fluida merupakan pengaruh yang ditimbulkan karena pengurangan kapasitas dan terjadinya perubahan pola aliran fluida dalam pipa horizontal. Aliran fluida dalam pipa yang berbentuk lingkaran terbagi dua, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Karakteristik antara kedua aliran tersebut berbeda-beda dari segi kecepatan, debit dan massa jenis. (Munson, Bruce R, Young, Donald F, and Okiishi, Theodore H. 2002, Reuben M. Olson & Steven J Wright. 1993, Victor L Streeter & E. Benjamin Wylie. 1993).

Pemodelan Aliran Fluida

Fenomena aliran fluida dalam pipa dapat dimodelkan dengan persamaan persamaan kontinuitas (hukum kekekalan massa) dan persamaan momentum (hukum kekekalan momentum).

Persamaan kontinuitas untuk suatu fluida compressible pada aliran unsteady dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Untuk aliran incompressible, nilai densitas fluida (ρ) konstan dan persamaan diatas menjadi:

$$\nabla \cdot (\rho v) = 0$$

Atau

$$\frac{\partial(v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(v_z)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Pemodelan turbulensi

Model $k - \epsilon$ standar (Lauder & Spalding, 1974) mempunyai dua model persamaan yaitu persamaan untuk k dan ϵ untuk mendefinisikan skalakecepatan.

$$\epsilon = k^{1/2}$$

$$l = \frac{k^{3/2}}{\epsilon}$$

Variabel ϵ yang menyatakan aliran steady digunakan untuk mendefinisikan aliran dalam pipa karena pengaruh bilangan Reynolds.

METODE

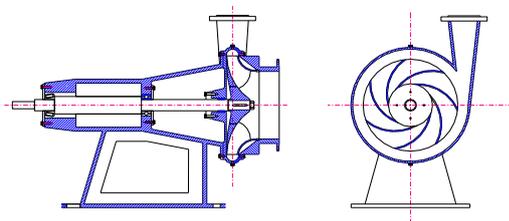
Pembuatan model dalam penelitian ini berdasarkan dengan *Autocad 2010* dan untuk simulasi CFD menggunakan *FLUENT 6.12 Academic lisensi* pengguna milik Jurusan Teknik Mesin USU.

Untuk mempermudah proses simulasi maka langkah pertama yang harus dilakukan dengan pemodelan dan selanjutnya menentukan parameter penyelesaian serta menjalan simulasi.

Pembuatan model pipa isap

Hal yang perlu dilakukan pertama kali sebelum melakukan proses simulasi adalah pemodelan yang memfokuskan mekanisme pada aliran laminar dan turbulen dengan visualisasi aliran dalam pipa.

Sebuah pompa sentrifugal telah dipilih sebagai peralatan yang akan disimulasikan. Pompa yang digunakan untuk simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 1. Simulasi dilakukan terhadap parameter operasi dan parameter geometri untuk menentukan kesan parameter-parameter ir



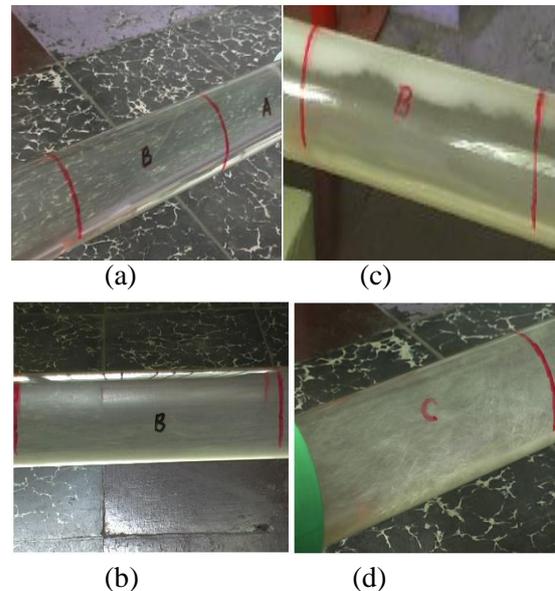
Gambar 1. Pompa Sentrifugal

Data teknis pompa sentrifugal :

| | |
|-----------|----------------|
| Merk | : Aquavane KSB |
| Head | : 9 meter |
| Kapasitas | : 3 Lrt/dt |
| Daya | : 746 watt |
| Putaran | : 1450 rpm |

Bidang Pengamatan

Bidang yang diamati pada penelitian ini adalah bukaan katup 20%, bukaan katup 40%, bukaan katup 60%, bukaan katup 80% dan pada pipa section yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Pipa suction pompa

- (a) Bukaan katup suction 20 %
- (b) Bukaan katup suction 40 %
- (c) Bukaan katup suction 60 %
- (d) Bukaan katup suction 80 %

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan aliran dengan bervariasi bukaan katup isap diperoleh data perhitungan seperti Tabel 1 berikut.

Pembahasan merupakan bagian terpenting dari keseluruhan isi artikel ilmiah. Tujuan pembahasan adalah: menjawab

masalah penelitian, menafsirkan temuan-temuan, mengintegrasikan temuan dari penelitian ke dalam kumpulan pengetahuan

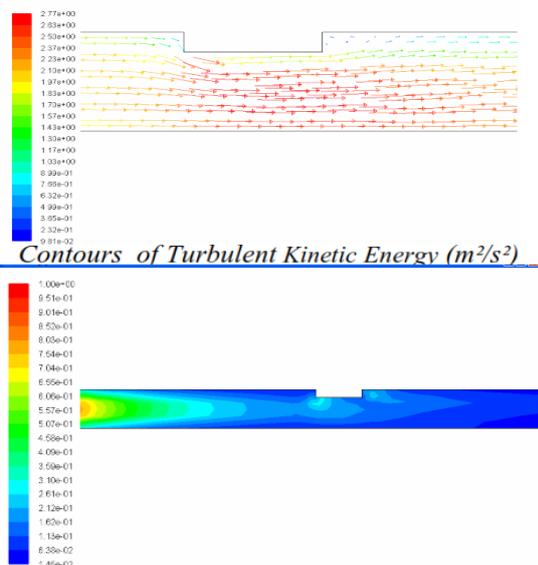
yang telah ada dan menyusun teori baru atau memodifikasi teori yang sudah ada.

Tabel 1. Hasil perhitungan kapasitas, kecepatan aliran dan *Reynold Number*

| Tipe bukaan katup pipa isap pompa | Q (m ³ /s) | A (m ²) | V (m/s) | Re | Tipe aliran |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------|-------------|
| OPEN 100% | 6.47 x 10 ⁻⁵ | 2.03 x 10 ⁻³ | 3.19 x 10 ⁻² | 1926.5 | Laminar |
| CLOSE 20 % | 5.56 x 10 ⁻⁵ | 1.29 x 10 ⁻³ | 4.29 x 10 ⁻³ | 2062.82 | Lamnar |
| CLOSE 40 % | 4.1 x 10 ⁻⁵ | 7.29 x 10 ⁻⁴ | 5.62 x 20 ⁻² | 3393.46 | Transisi |
| CLOSE 60 % | 3.86 x 10 ⁻⁵ | 3.24 x 10 ⁻⁴ | 1.015 x 10 ⁻¹ | 6305.83 | Turbulen |
| CLOSE 80 % | 1.99 x 10 ⁻⁵ | 8.10 x 10 ⁻⁵ | 2.458 x 10 ⁻¹ | 14836 | Turbulen |

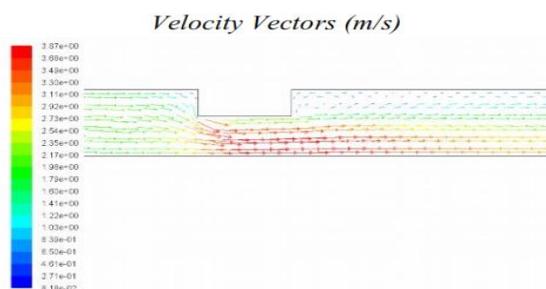
Simulasi Pola Aliran

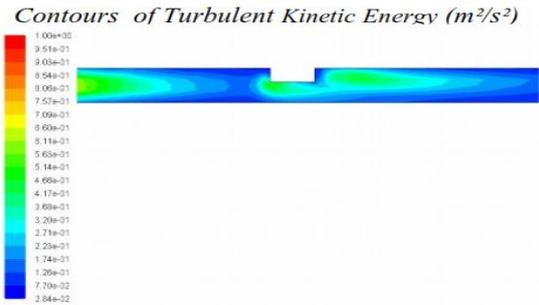
Pola aliran dominan yang terjadi pada bukaan katup 20 % membentuk vektor kecepatan.



Gambar 3. Close valve 20 %

Pada Gambar 3 terlihat bahwa vektor kecepatan aliran dalam pipa masih mengikuti garis lurus walaupun terlihat ada sedikit perubahan pola aliran yang melewati sambungan pipa. Distribusi kecepatan fluida ditunjukkan dengan aliran fluida yang berwarna merah yaitu kecepatan tertinggi dengan nilai 2,77 m/s, dan yang kecepatan paling rendah dalam pipa yaitu berwarna biru dengan nilai 9,81x10⁻² m/s.

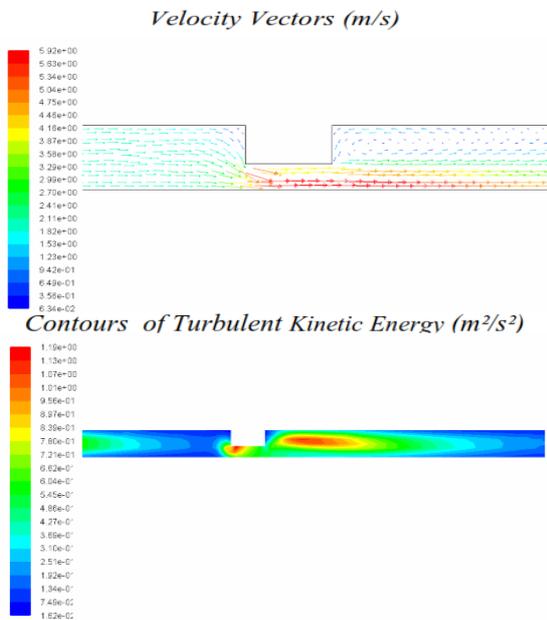




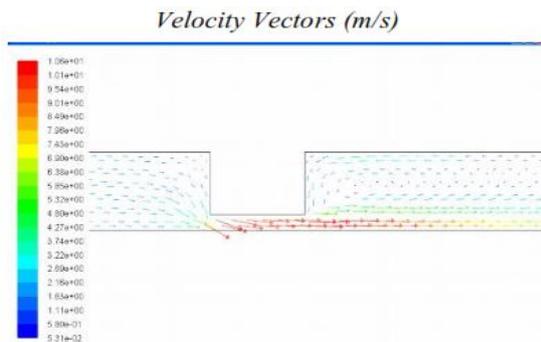
Gambar 4. Close valve 40 %

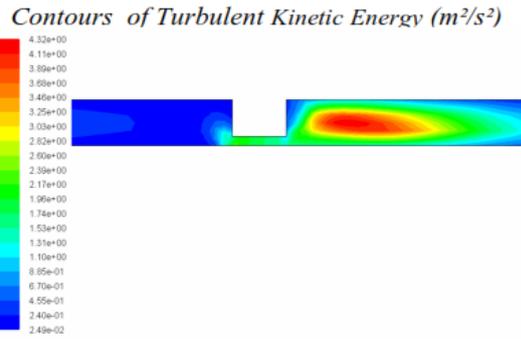
Pada Gambar 4 penutupan katup isap 40% terlihat bahwa vektor kecepatan aliran sudah mulai membentuk pusaran kecil dan alirannya masih beraturan. Distribusi kecepatan aliran tertinggi 3,87 m/s yang tunjukkan oleh warna merah dan kecepatan aliran terendah $8,18 \times 10^{-2}$ m/s yang terlihat warna biru.

Sedangkan pola aliran katup tertutup 60 % aliran turbulen mulai teridentifikasi pada aliran dalam pipa dan hal ini terlihat bahwa pusaran air dan vektor kecepatan bergerak tidak beraturan. Distribusi vektor kecepatan dan gerak laju aliran tidak beraturan dapat digolongkan aliran turbulen. Vektor kecepatan tertinggi adalah 5,92 m/s yang ditunjukkan berwarna merah, sedangkan vektor kecepatan yang terendah terlihat yang berwarna biru dengan nilai $6,34 \times 10^{-2}$ m/s.



Gambar 5. Close valve 60 %



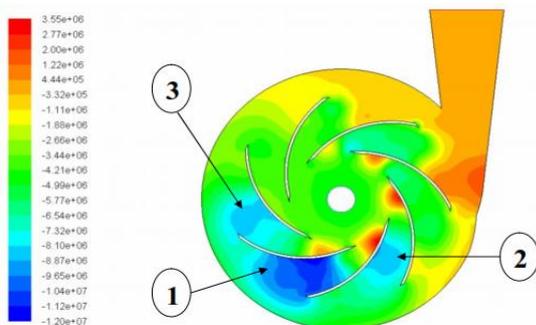


Gambar 6. Close valve 80 %

Pada pengujian penutupan katub isap 80% terlihat adanya gelembung-gelembung fluida dalam pipa dan alirannya dapat digolongkan turbulen. Gerak vektor kecepatan membentuk pusaran-pusaran berlapis tidak beraturan dan distribusi kecepatan tertinggi adalah $1,06 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ yang diperlihatkan berwarna merah dan kecepatan terendah sebesar $5,31 \times 10^{-2} \text{ m/s}$. Distribusi energi turbulen berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai $4,32 \text{ m}^2/\text{s}^2$ tertinggi dan terendah diperoleh nilai $2,49 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$. Bentuk ujung aliran fluida bergelembung berputar menjadi besar dan terjadi kavitasi.

Analisa kemungkinan kavitasi pada pompa sentrifugal

Kavitasi adalah peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung uap di dalam cairan yang terjadi akibat turunnya tekanan sampai dibawah tekanan uap jenuh cairan dimana suhu air yang digunakan adalah 20°C , maka nilai tekanan uap air jenuh adalah sebesar 2340 pascal pada suhu operasi pompa. Gelembung uap yang terbentuk dalam proses ini mempunyai siklus yang sangat singkat. *Knapp (Kurassik, dkk, 1976)* menemukan bahwa mulai terbentuknya gelembung sampai gelembung pecah hanya memerlukan waktu sekitar 0,003 detik.



Gambar 7. Indikasi kavitasi pada pompa

Untuk hasil simulasi CFD (*Computational Fluid Dinamics*) pada pompa dengan kondisi close 80%, pompa mengalami kavitasi pada dinding impeller yang ditunjukkan titik 1 berwarna biru dimana terjadi penurunan tekanan air jenuh. Distribusi tekanan fluida ditunjukkan dengan aliran fluida berwarna merah yaitu kecepatan aliran tertinggi dengan nilai $3,55 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, sedangkan kecepatan aliran terendah dalam pipa yang berwarna biru dengan nilai $-1,20 \times 10^{-7} \text{ m/s}$. Dari hasil simulasi indikasi kavitasi pada pompa terjadi pada titik 1, titik 2 dan titik 3 dengan penurunan tekanan fluida masing-masing titik 1 sebesar $-1,25 \times 10^7 \text{ Pa}$, titik 2 sebesar $-8,87 \times 10^6 \text{ Pa}$ dan titik 3 sebesar $-8,81 \times 10^6 \text{ Pa}$.

Validasi hasil simulasi dengan dengan hasil eksperimen

Hasil simulasi menggunakan komputasi dinamika fluida dengan pendekatan-pendekatan secara teoritis akan diketahui kebenarannya jika diaplikasikan secara nyata, oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan validasi untuk membuktikan bahwa hasil simulasi pola aliran dalam pipa mendekati hasil penelitian eksperimen yang dilakukan oleh *Ibnu,H (2010)*.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan:

1. Karakteristik pola aliran turbulen dominan terlihat awal pada penutupan katub 60% dengan vektor kecepatan aliran tertinggi adalah 5,92 m/s dan semakin jelas gelembung-gelembung turbulen pada penutupan katub 80% pompa bergetar dan terjadi penurunan tekanan pada pipa *suction*.
2. Semakin besar penutupan katub pada pipa isap dan kecepatan aliran berkurang akan mengidentifikasi bahwa pompa terjadi kavitasi.
3. Beberapa range kecepatan yang diperoleh, hasil simulasi ini mendekati hasil eksperimen sehingga dapat digunakan untuk simulasi pola aliran pada pompa sentrifugal dengan geometri yang sama
4. Semakin besar penurunan tekanan yang terjadi dinding impeller pompa semakin besar kemungkinan terjadinya kavitasi.

SARAN

Penelitian ini akan mendapatkan hasil yang lebih akurat lagi jika dilakukan simulasi dengan kenaikan temperatur aliran fluida dalam rumah pompa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Universitas Sumatera Utara (USU) khususnya laboratorium komputer jurusan teknik mesin yang telah memberikan kesempatan untuk mensimulasikan hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Penulisan daftar pustaka terdiri-dari nama penulis, tahun penerbitan, judul artikel, nama kota dan institusi penerbitan. Daftar pustaka diurutkan sesuai huruf pertama nama pe

- [1] Hajar, Ibnu. 2010. *Studi eksperimental Fenomena Kavitasi pada Pompa Sentrifugal menggunakan Sinyal Getaran untuk Condition Monitoring*. Master Thesis, USU – Medan.
- [2] Jeremy J. Kenwood D, (2000), *Detection Cavitation in Centrifugal Pumps*, Research Engineer Rotor Bently Rotor Dynamic, Nevada Cord. USA
- [3] Karassik, Center. 1960. *Sentrifugal Pump*. Mc Graw-Hill, Inc. New York, USA
- [4] L.Tobing Eben H, (2010), *Simulasi Perancangan Pompa Sentrifugal pada Instalasi Hotel ArYaduta Medan Mrnggunakan CFD Fluent 6.1.22* Proseding Seminar Material, Energi dan Struktur (MAESTRUCT) 2011, USU Medan.
- [5] Munson, Bruce R, Young, Donald F, and Okiishi, Theodore H, (2002), *Fundamentals of Fluid Mechanics, fourth edition*, Jhon Willey & Sons, Inc,
- [6] Reuben M. Olson & Steven J Wright, (1993), *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
7. R Ridwan, Al Siswantara, S Supriyanto – 2002. Analisa Aliran Vortex Pada Pembesaran Saluran Pipa dengan Teknologi Computational Fluid Dynamics (CFD).
- [8] Victor L Streeter & E. Benjamin Wylie, (1993), *Mekanika Fluida*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta