

SIMULASI KINERJA POMPA RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN METODE NUMERIK

*Mochamad Naufal Hanif Musyaffa¹, Nazarudin Sinaga², Bambang Yunianto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: naufalhanif@students.undip.ac.id

Abstrak

Pompa regenerative merupakan jenis pompa kinetik yang memiliki karakteristik dapat menghasilkan *head* yang tinggi pada debit aliran rendah serta banyak digunakan di tingkat rumah tangga hingga industri. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi geometri sudu impeller pompa terhadap performa tekanan total dan efisiensi yang dihasilkan pompa. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode CFD menggunakan model komputasi pompa yang diteliti. Tahap pertama dari penelitian adalah pengambilan data eksperimen berupa debit dan tekanan menggunakan alat uji pompa, dimana data tersebut digunakan untuk proses validasi. Variasi geometri yang disimulasikan berupa jumlah sudu impeller yang disimulasikan pada kondisi kecepatan putar impeller 2300 RPM dan debit 10 – 18 LPM. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh jumlah sudu yang semakin banyak mempengaruhi jumlah vortisitas fluida hingga menghasilkan *head* lebih tinggi.

Kata kunci: *cfD; head pompa; pompa regeneratif; vortisitas fluida*

Abstract

Regenerative pump is a type of kinetic pump which has the capability to produce high heads at low flow rates and is widely used from household to industrial level. The purpose of this study was to determine the effect of variations of the pump's impeller blade geometry on the total pressure and efficiency produced by regenerative pump. This research was conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) method using the pump's computational model. The first stage of the research was to collect experimental data which is fluid flow rate and pump head pressure using a pump testing setup, where the data was used in the validation process. The simulated geometric variations are the number of blades which are simulated under conditions of impeller rotational speed 2300 RPM and flow rate 10-18 LPM. The results of the research show that the more the number of blades affects the amount of fluid vortices to produce a higher pump head.

Keywords: *cfD; fluid vortices; pump head; regenerative pump*

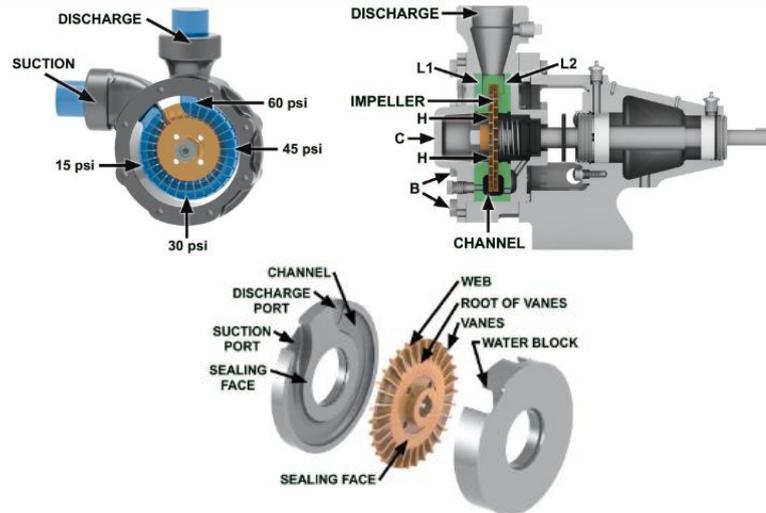
1. Dasar Teori

Dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini meliputi:

1.1 Pompa Regeneratif

Pompa regeneratif bekerja dengan mendorong fluida secara radial ke luar melalui gaya sentrifugal. Ketika fluida bersentuhan dengan bagian sudu dari impeller. Ruang yang melingkupi mengalirkan fluida ke dalam pusaran kembar di sekitar bilah impeller.

Kenaikan tekanan terjadi di sekitar setiap bilah impeller. Vortisitas terbentuk di kedua sisi baling-baling impeller, dengan sumbu heliks melengkung dan sejajar dengan keliling impeller. Dalam semua jenis pompa ini, cairan melewati impeller hanya sekali, dan dengan demikian memiliki semua energi yang ditambahkan dalam satu kali melewati bilah pompa. Sebagai perbandingan, dalam pompa turbin regeneratif, cairan memutar impeller berkali-kali, dengan energi kinetik yang diberikan ke cairan bertambah setiap kali melewati sudu, sehingga memungkinkan lebih banyak gaya yang dihasilkan fluida. [1]



Gambar 1. Pompa Regeneratif [2]

1.2 Head Pompa

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. [3]

$$\Delta h_p = \frac{P_d - P_s}{\gamma}$$

Dimana : Δh_p : Head tekanan (m)
 P_d : Tekanan saat fluida keluar dari pompa (Pa)
 P_s : Tekanan saat fluida masuk dari pompa (Pa)
 γ : Berat jenis (N/m^3)

1.3 Debit

Debit merupakan kecepatan perpindahan fluida dalam satuan waktu [3], dimana debit dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = A \cdot V$$

Dimana: V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
 Q : Debit air (m^3/s)
 A : Luas penampang (m^2)

1.4 Daya

Daya pompa adalah besarnya energi persatuan waktu atau kecepatan melakukan kerja. Daya pada pompa terbagi menjadi dua, yaitu daya hidrolik dan daya poros.

Daya hidrolik (daya pompa teoritis) adalah daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya ini dapat dihitung dengan rumus :

$$P_H = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

Dimana : P_H : Daya hidrolik pompa (W)
 Q : Debit pompa (m^3/s)
 H : Total head pompa (m)
 ρ : Densitas cairan (kg/m^3)
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

Untuk mengatasi kerugian daya yang dibutuhkan oleh poros yang sesungguhnya adalah lebih besar dari pada daya hidrolik [4]. Besarnya daya poros sesungguhnya adalah sama dengan efisiensi pompa atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_S = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot \tau}{60} = \omega \cdot \tau$$

Dimana : PS : Daya poros pompa (W)
 N : Putaran poros (RPM)
 ω : Kecepatan sudut (rad/s)
 τ : Torsi (Nm)

1.5 Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa.

$$\eta = \frac{PH}{PS}$$

Dimana : η : Efisiensi pompa (%)
 PH : Daya hidrolik pompa (W)
 PS : Daya poros pompa (W)

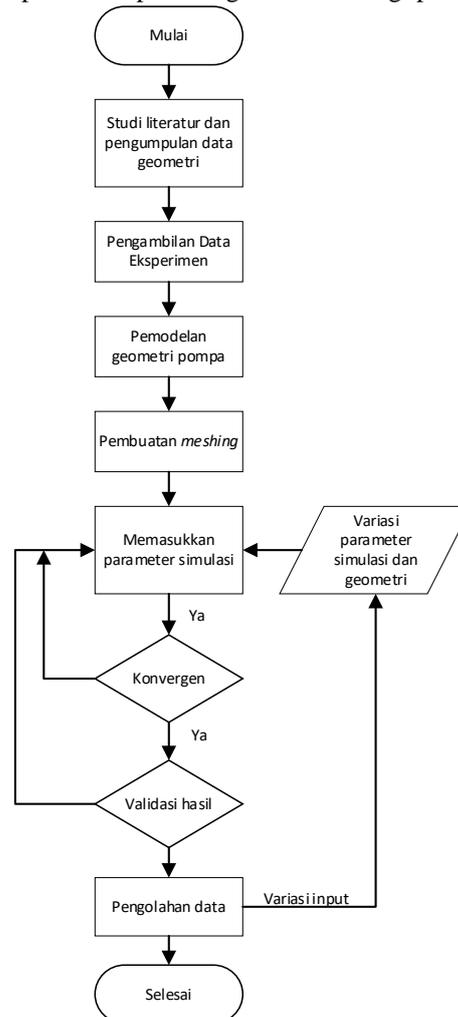
1.6 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational fluid dynamics (CFD) adalah ilmu yang dapat memprediksi aliran fluida, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia, dan fenomena terkait lainnya dengan memecahkan masalah secara numerik menggunakan persamaan pembangun matematika.

CFD diaplikasikan pada bidang yang sangat luas, mulai dari lini industri hingga non-industri, misalnya: aerodinamika pada kendaraan (drag dan lift), pembakaran pada *internal combustion engine*, pendinginan pada sirkuit elektrik, hingga aliran darah yang melewati pembuluh arteri dan vena. Perangkat CFD berisikan algoritma numerik yang menganalisa masalah aliran fluida.

2. Metode Penelitian

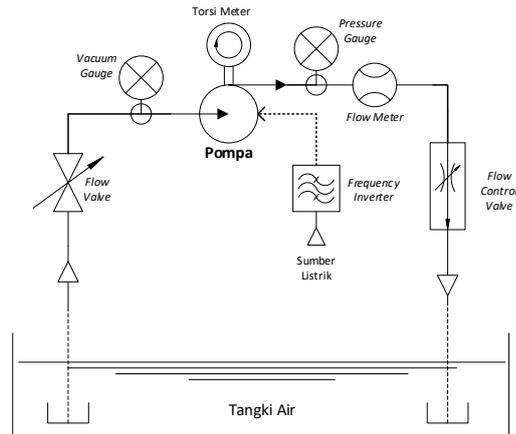
Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram metodologi penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Metodologi Penelitian

2.1 Tahap Eksperimen

Skema alat uji pompa dapat dilihat pada Gambar 3.

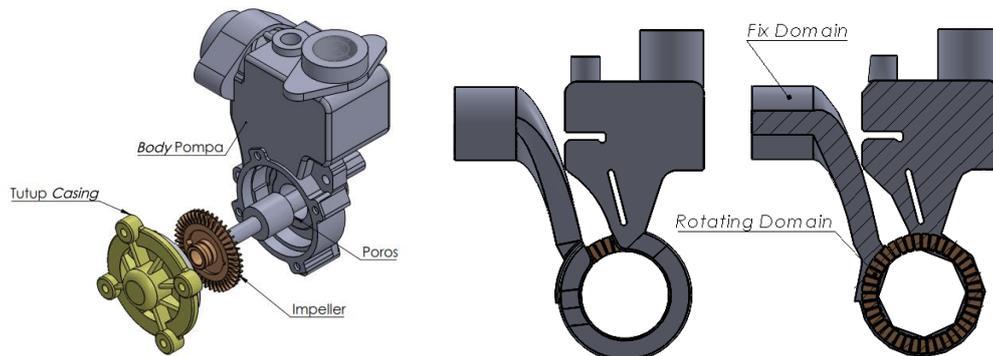


Gambar 3. Skema Alat Uji Pompa

Eksperimen dilakukan untuk mengambil data tekanan total *head*, debit, daya poros, dan putaran impeller dari pompa regeneratif. Eksperimen dilakukan dengan variabel terikat berupa kecepatan putar impeller dan debit aliran. Setelah dilakukan beberapa eksperimen, ditentukan bahwa hasil eksperimen yang digunakan untuk validasi adalah eksperimen pada 2300 RPM dan debit 9 – 16 LPM. [5]

2.2 Tahap Pembuatan Geometri

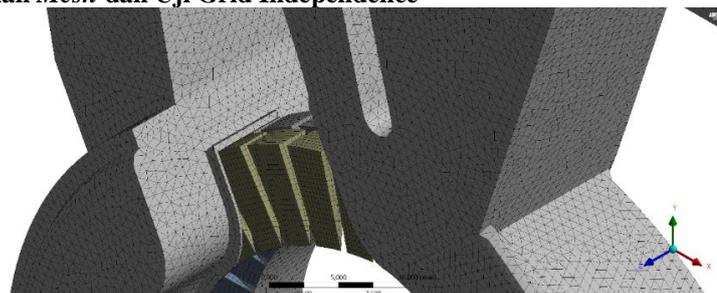
Model 3D dari pompa Shimizu 128-BIT dibuat menggunakan aplikasi Solidwork 2020. Model geometri pompa terbagi menjadi empat bagian yaitu *body* pompa, tutup *casing*, dan poros yang selanjutnya di-*assembly* menjadi satu.



Gambar 4. Model 3D dan Model *Conjugate* Pompa

Untuk simulasi CFD, model komputasi yang digunakan adalah model *conjugate* dari pompa, dimana model tersebut akan menjadi domain fluida (*fluid domain*) yang mewakili ruangan di dalam pompa yang terisi oleh fluida. model domain fluida ditambahkan *extended inlet* dan *extended outlet* dengan panjang masing-masing 0.5 m pada bagian inlet dan outlet pompa. Model komputasi terbagi menjadi dua bagian, yaitu *fix domain* dan *rotating domain* seperti pada Gambar 3. Pembagian model komputasi ini bertujuan untuk memberikan kondisi batas (*boundary condition*) kecepatan sudut pada *rotating domain* dan memberikan metode grid yang berbeda pada kedua domain [6].

2.3 Tahap Penggenerasian Mesh dan Uji Grid Independence



Gambar 5. Pembuatan Mesh

Jenis mesh yang digunakan pada *fix domain* adalah *tetrahedral* karena jenis mesh tersebut dapat menggenerasikan mesh dengan kualitas yang bagus pada geometri yang kompleks pada *fix domain*, sedangkan pada *rotating domain* menggunakan *mesh hexahedral*. Pada permukaan geometri *fix domain* dan *rotating domain* yang saling bersentuhan, diberikan input *contact region* agar bisa diberi kondisi batas sebagai *interface* pada simulasi. Pada pembuatan *mesh*, *skewness* dipertahankan pada <0.9 , *orthogonal quality* pada 0.14 , dan *aspect ratio* dibawah $5 : 1$ [7].

Uji grid dilakukan dengan delapan jenis grid, yaitu 759674, 1092268, 1316274, 1472191, 1837137, 2087764, 2550974, dan 3036022 dengan membandingkan hasil *head* pompa pada simulasi. Pada jumlah grid 1472191, tidak terjadi perubahan besar pada *head* pompa ($<1\%$) jika dibandingkan dengan jumlah grid yang lebih besar. Maka dari itu ditentukan simulasi dilakukan pada grid dengan jumlah 1.5 juta.

2.4 Tahap Simulasi

Pada simulasi ini, pendefinisian model fisik dilakukan untuk mengatur jenis aliran serta ada atau tidaknya transfer energi selama proses berlangsung. Aliran fluida ditentukan pada rentang $Re = 6.000 - 12.000$, yang mana merupakan karakteristik aliran turbulen. Menurut *ANSYS Fluent Theory Guide*, model turbulensi yang cocok pada kondisi aliran dengan rentang bilangan Reynolds tersebut adalah *k-ε Realizable* [8][9] dan *k-ω SST* [6][7]. Setelah disimulasi dan dibandingkan dengan hasil eksperimen, *k-ε Realizable* memiliki hasil yang cukup dekat dan residual yang lebih stabil.

Dengan mempertimbangkan nilai y^+ yang ingin dicapai, dipilih *Standard Wall Functions* dimana pada aliran dengan bilangan Reynold rendah (turbin, dll), *Standard Wall Functions* cocok digunakan pada $y^+ = 15 - 100$ [10].

Kondisi batas yang digunakan adalah *pressure-inlet*, *mass flow-outlet*, dan *rotating wall*. Kriteria konvergensi yang digunakan adalah 10^{-4} .

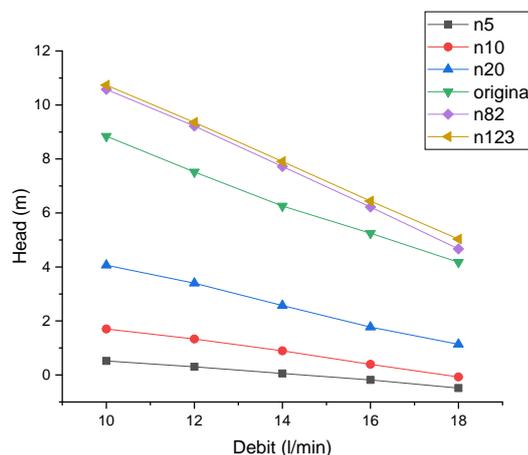
2.5 Tahap Validasi

Untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat, validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan perbandingan debit-tekanan yang didapat dari data proses eksperimen. Pada perbandingan debit-tekanan eksperimen dan simulasi, error tertinggi berada pada 9.1% dengan rata-rata error 3.01%.

3. Hasil dan Pembahasan

Agar alat uji pompa bisa menghasilkan data yang akurat, alat uji tersebut dimodifikasi sesuai dengan standar ANSI/HI 1.6-2000 dan 14.6-2011 mengenai posisi dan setup *pressure gauge* pada alat uji untuk mengurangi error yang dihasilkan dari *head loss* dan aliran yang tidak *fully developed*. Alat ukur *pressure gauge* dan *flow meter* juga dikalibrasi terlebih dahulu, sehingga alat uji pompa tersebut dapat menghasilkan data debit-tekanan yang konstan dengan rata-rata error yang rendah jika dibandingkan dengan hasil simulasi yang dilakukan.

Simulasi dilakukan dengan enam variasi jumlah sudu impeller, yaitu jumlah sudu 5, 10, 20, 82, dan 123, dimana pompa asli yang digunakan memiliki 41 sudu. Hasil dari simulasi adalah grafik perbandingan *head* pompa.



Gambar 6. Grafik Debit-Tekanan Variasi Geometri

Pada grafik debit-tekanan, ditunjukkan bahwa terjadi peningkatan *head* sebanding dengan penambahan jumlah sudu hingga jumlah sudu 123 dengan peningkatan 21.39%. Jumlah sudu pada impeller mempengaruhi gaya *drag* yang dihasilkan untuk menarik fluida dari inlet ke outlet ketika impeller berputar, dan meningkatkan tekanan statis dan tekanan total karena kerugian akibat slip berkurang serta peningkatan jumlah vortisitas fluida yang menghasilkan efek *multi-stage* tekanan pada pompa [11].

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Head* total yang tinggi pada pompa regeneratif terbentuk oleh vortisitas yang dialami fluida di sepanjang *channel* pompa dan fluida yang melewati *channel* lebih dari sekali, sehingga aliran fluida mampu menghasilkan resultan *head* yang tinggi.
2. Dari keenam variasi jumlah sudu yang disimulasikan, variasi jumlah sudu 123 memiliki peningkatan *head* paling tinggi dengan peningkatan sebesar 21.39%. Hal itu terjadi karena semakin banyak jumlah sudu, vortex yang dilalui fluida semakin banyak sehingga resultan *head* semakin tinggi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abdelmeguid, Hossam. (2000). "Design, Construction and Testing of Regenerative Turbine Pump". *Faculty of Engineering Mansoura University*.
- [2] Ruth Pump Company. "Regenerative Turbine Pump – Little Pump Big Head". (Online) <https://www.rothpump.com/Media/Little%20Pump%20Big%20Head.pdf> (Diakses pada 11 Juli 2023)
- [3] Putro, Eko Prasetyo, dkk. (2020). "Analisis Pompa Sentrifugal Pada Rangkaian Seri dan Paralel". *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* Vol.21, No. 2: 46-56
- [4] Saksono, Puji. (2011). "Analisis Efisiensi Pompa Centrifugal Pada Instalasi Pengolahan Air Kampung Damai Balikpapan". *PROTON* Vol 3, No 2
- [5] Pratama, Indra Putra. (2022). "Pembuatan dan Perancangan Alat Uji Pompa Berbasis Akuisisi Data". (Skripsi) Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [6] Kanase, Rohit S. dkk. (2017). "Experimental and CFD Analysis of Regenerative Pump". *Heat and Mass Transfer Conference (IHMT-2017)*.
- [7] Nejadali, Jafar. (2021). "Analysis And Evaluation Of The Performance And Utilization Of Regenerative Flow Pump As Turbine (PAT) In Pico-Hydropower Plants". *Energy for Sustainable Development* 64 (2021): 103–117
- [8] Quail, Francis J., Scanlon, Thomas, & Baumgartner, Armin. (2012). "Design Study of a Regenerative Pump Using One-Dimensional and Three-Dimensional.
- [9] Karanth, K. Vasudeva. (2015). "Numerical Study of a Self Priming Regenerative Pump for Improved Performance using Geometric Modifications". *International Journal of Current Engineering and Technology* Vol. 5 No. 1 : 104 – 109.
- [10] ANSYS, Inc.. (2013). "ANSYS Fluent Theory Guide 15.0". Canonsburg : ANSYS, Inc.
- [11] H. Iversen, W. (1955). "Performance of the Periphery Pump" *Trans. ASME* 77, no. 1: 23-28.