

KAJI NUMERIK PENGARUH VARIASI GEOMETRI POMPA TERHADAP KINERJA POMPA REGENERATIF MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)* DAN *DIRECT OPTIMIZATION*

Faza Hadiyan¹, Nazarudin Sinaga², Mohammad Tauviquirrahman²

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: fazahadiyan@students.undip.ac.id

Abstrak

Pompa regeneratif merupakan jenis pompa dinamis yang mampu menghasilkan head tinggi pada debit aliran kecil. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh variasi geometri pompa regeneratif terhadap kinerja pompa serta menentukan desain optimal berdasarkan parameter performa pompa. Penelitian dilakukan menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS Fluent 2023 R1. Pompa yang digunakan adalah pompa regeneratif tipe XYZ dengan fluida kerja air dianggap incompressible kondisi aliran steady-state. Proses optimasi dilakukan menggunakan metode Design of Experiments (DOE), Response Surface Methodology (RSM), dan Direct Optimization.

Kata kunci: *cf*; efisiensi; *head*; optimisasi; pompa regeneratif; *response surface methodology*

Abstract

Regenerative pumps are a type of dynamic pump capable of producing high head at low flow rates. This study aims to investigate the effect of geometric variations of a regenerative pump on its performance and to determine an optimal design based on pump performance parameters. The study was conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations with ANSYS Fluent 2023 R1. The pump analyzed was a XYZ regenerative pump with water as the working fluid, assumed to be incompressible under steady-state flow conditions. Optimization process using Design of Experiments (DOE), Response Surface Methodology (RSM), and Direct Optimization Method.

Keywords: *cf*; efficiency; *head*; optimization; regenerative pump; *response surface methodology*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

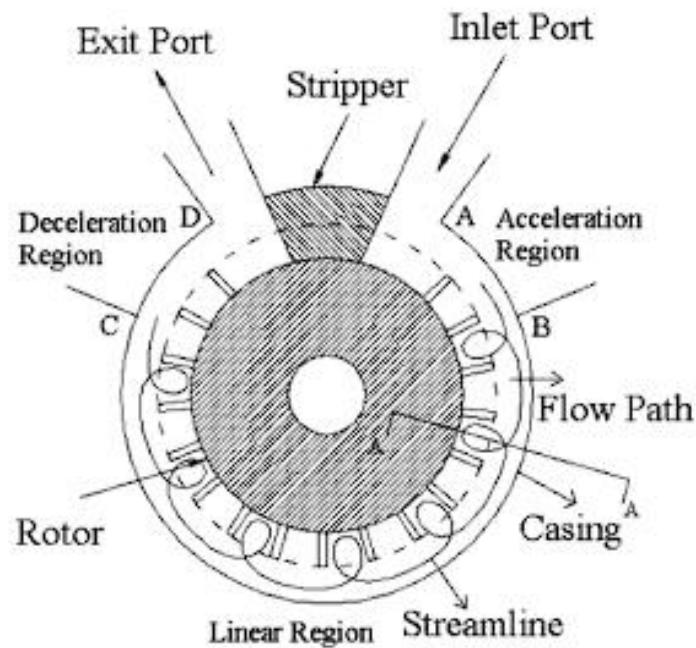
Air merupakan sumber daya vital bagi kehidupan dan industri sehingga diperlukan sistem transportasi fluida yang andal dan efisien, di mana konsep mesin fluida berperan penting seiring perkembangan teknologi pompa modern. Pompa regeneratif merupakan salah satu jenis pompa dinamis yang mampu menghasilkan head tinggi pada debit kecil melalui sirkulasi fluida berulang antara sudu impeler dan saluran casing yang meningkatkan tekanan secara bertahap [1]. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa geometri impeler dan channel casing sangat memengaruhi pola aliran, distribusi tekanan, serta performa hidrolis, di mana optimasi sudu dan saluran casing mampu meningkatkan head hingga 8,9% dan efisiensi total sebesar 14,2% [2].

Untuk memperoleh desain geometri yang optimal secara efisien, digunakan metode optimasi numerik berbasis statistik dan algoritmik seperti Response Surface Methodology (RSM) dan Direct Optimization yang lebih unggul dibandingkan pendekatan trial and error [3]. Dalam penelitian ini, RSM dengan Box-Behnken Design (BBD) dan algoritma Genetic Aggregation dikombinasikan dengan Direct Optimization menggunakan Auto Run Time Index 3 pada ANSYS Fluent 2023 R1 guna memperoleh desain pompa regeneratif dengan performa head dan efisiensi terbaik secara numerik.

1.2 Pompa Regeneratif

Pompa regeneratif termasuk dalam kategori pompa dinamis. Jenis pompa ini digunakan di tempat-tempat yang memerlukan tekanan keluaran tinggi dengan laju aliran volume kecil. Karena gaya sentrifugal, fluida dalam pompa regeneratif mengalir secara spiral di saluran aliran periferal dan kembali masuk ke jalur periferal bilah beberapa kali, mulai dari port masuk hingga port keluar [4]. Struktur pompa regeneratif terdiri atas impeler, blok saluran dengan suction port dan discharge port, serta channel melingkar yang membentuk jalur sirkulasi fluida, di mana celah sempit dan hubungan geometris antar komponen yang dirancang presisi memungkinkan pertukaran momentum berulang

sehingga pompa mampu menghasilkan head tinggi pada debit kecil dengan efisiensi dan kestabilan aliran yang terjaga [5].



Gambar 1. Pompa Regeneratif [5]

1.3 CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode analisis numerik yang digunakan untuk menyelesaikan dan menganalisis permasalahan aliran fluida serta perpindahan panas dengan cara memecahkan persamaan dasar aliran fluida. Metode ini memungkinkan visualisasi dan perhitungan karakteristik aliran secara detail, yang sulit diperoleh melalui pengujian eksperimental konvensional. Dalam penelitian ini, simulasi CFD dilakukan menggunakan ANSYS Fluent 2023 R1 untuk menganalisis kinerja pompa regeneratif [7].

1.4 RSM (Response Surface Methodology)

Response Surface Methodology (RSM) digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel input (parameter desain) dan variabel output (respon performa). Data respon hasil simulasi CFD digunakan untuk membentuk model matematis. Model RSM memungkinkan proses evaluasi performa dilakukan lebih cepat karena prediksi respon dapat diperoleh tanpa menjalankan simulasi ulang. Selain itu, RSM membantu dalam identifikasi tren hubungan parameter serta menentukan area pencarian nilai optimum secara akurat [8].

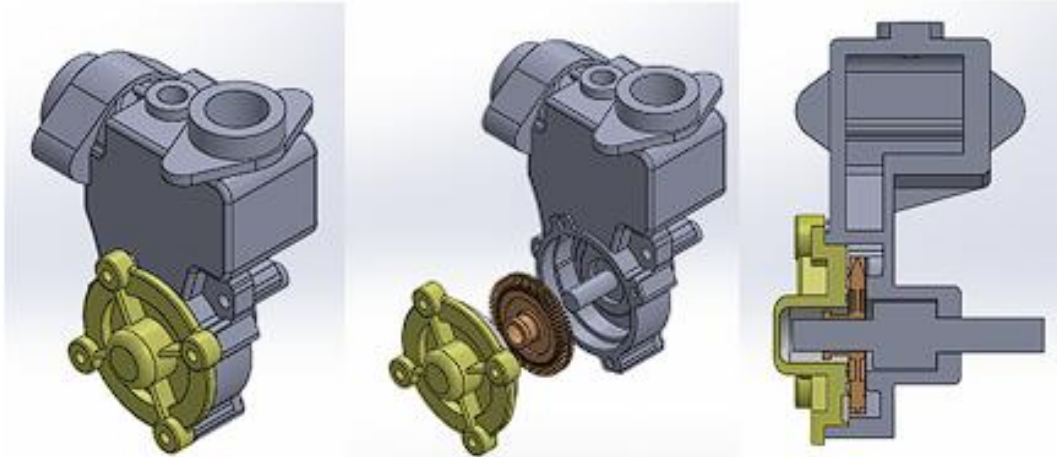
1.5 Direct Optimization

Direct Optimization yaitu proses pencarian nilai parameter yang memberikan performa terbaik berdasarkan model RSM yang telah terbentuk. Pada tahap ini, metode optimasi numerik diterapkan untuk menemukan titik desain yang memaksimalkan *head* dan efisiensi serta meminimalkan daya yang dibutuhkan. Hasil optimasi ini kemudian diverifikasi kembali melalui simulasi CFD untuk memastikan bahwa desain optimum yang diperoleh sesuai dengan prediksi model dan memenuhi kriteria performa yang diinginkan [8].

2. Metodologi Penelitian

2.1 Geometri Pompa

Model geometri tiga dimensi pompa XYZ dimodelkan menggunakan SolidWorks 2023 berdasarkan pengukuran langsung, mencakup komponen utama pompa yang dirakit dalam satu kesatuan model beserta tampilan potongan untuk memperjelas geometri internal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Desain Pompa XYZ

Variasi geometri komputasi dilakukan dengan memodifikasi parameter celah utama pompa regeneratif, meliputi celah radial, celah sudu, dan celah tutup, pada model tiga dimensi untuk merepresentasikan perubahan geometri yang dianalisis dalam penelitian ini. Selanjutnya, pembuatan model fluida dilakukan dengan mengekstraksi domain aliran dari geometri padat pompa sehingga diperoleh domain fluida yang mencakup seluruh saluran internal, termasuk inlet, outlet, dan kanal sirkulasi, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses simulasi CFD.

2.2 Tahap Optimasi

Optimasi pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh konfigurasi geometri impeler pompa regeneratif yang mampu memberikan performa terbaik. Tahapan optimasi dimulai dengan penetapan batas variasi desain yang masih sesuai dengan karakteristik fisik pompa, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan kombinasi titik desain melalui metode Design of Experiment. Data hasil simulasi kemudian digunakan untuk membangun model prediksi melalui Response Surface Methodology agar hubungan antara parameter input dan output dapat dianalisis lebih efisien. Model prediksi yang telah diverifikasi kelayakannya ini selanjutnya digunakan dalam tahap Direct Optimization untuk menemukan konfigurasi desain yang memberikan hasil paling optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis sensitivitas RSM dan Direct Optimization menunjukkan bahwa celah radial (P9) memiliki pengaruh terbesar terhadap head, daya, dan efisiensi[1] yang menyatakan bahwa clearance memengaruhi pola aliran dan kehilangan energi pada pompa regeneratif. Status *Not Converged* pada optimasi menunjukkan solusi feasible telah diperoleh, namun iterasi tambahan masih diperlukan[9] bahwa optimasi multi-objektif memerlukan usaha komputasi lebih besar untuk mencapai kondisi stabil sehingga keterbatasan komputasi membatasi iterasi. Selain itu, karena geometri memengaruhi distribusi tekanan dan pola aliran [10].

4. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis kinerja pompa regeneratif menggunakan simulasi CFD yang telah divalidasi dengan deviasi di bawah $\pm 5\%$, kemudian dikembangkan melalui DOE, RSM, dan Direct Optimization untuk menentukan desain optimal. Hasil menunjukkan bahwa model RSM memiliki akurasi yang baik dan Direct Optimization menghasilkan tiga candidate point feasible meskipun berstatus *Not Converged*[9]. Analisis sensitivitas mengindikasikan bahwa celah radial (P9) memiliki pengaruh terbesar terhadap kinerja pompa, dan dari perbandingan dengan desain original diperoleh karakter perubahan masing-masing kandidat[10]. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan peningkatan iterasi dan kapasitas komputasi, penyederhanaan geometri secara selektif dengan analisis pendukung, serta validasi eksperimental guna memastikan kesesuaian hasil numerik dengan kondisi nyata.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. Sreekanth, R. Sivakumar, M. Sai Santosh Pavan Kumar, K. Karunamurthy, M. B. Shyam Kumar, dan R. Harish, "Regenerative flow pumps, blowers and compressors – A review," *Proc. IMechE Part A: Journal of Power and Energy*, 2021.
- [2] J. Nejadali, "Analysis and evaluation of the performance and utilization of regenerative flow pump as turbine (PAT) in pico-hydropower plants," *Energy for Sustainable Development*, 2021.
- [3] W. Cao, H. Wang, X. Yang, dan X. Leng, "Optimization of guide vane centrifugal pumps based on response surface methodology and study of internal flow characteristics," *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023.

-
- [4] A. Tahoun, A. Abelsamieb, dan A. A. Hafiz, "Improvement of regenerative pump performance by using blade with combined angles modification," *Engineering Research Journal*, 2022.
 - [5] S. M. Rajmane dan S. P. Kallurkar, "CFD analysis of domestic centrifugal pump for performance enhancement," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2015.
 - [6] Y. A. Çengel dan J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 3rd ed., New York: McGraw-Hill Education, 2014.
 - [7] ANSYS, Inc., *Ansys Fluent Theory Guide*, Release 2021 R2, Canonsburg, PA, 2021.
 - [8] ANSYS, Inc., *DesignXplorer User's Guide*, Release 2025 R1, Canonsburg, PA, 2025.
 - [9] T. Goel dan N. Stander, "A study on the convergence of multiobjective evolutionary algorithms," *AIAA Journal*, 2007.
 - [10] Nejadrajabali, J., Riasi, A., & Nourbakhsh, S. A. "Flow pattern analysis and performance improvement of regenerative flow pump using blade geometry modification". *International Journal of Rotating Machinery*, 2016