

ANALISIS SIMULASI CASING DONUT PADA POMPA SENTRIFUGAL UNTUK APLIKASI FISH PUMP BESERTA MATERIALNYA

***Deni Erlangga¹, Yusuf Umardani², Shofwan Bahar²**

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: deni.erlangga22122002@gmail.com

Abstrak

Pemindahan ikan hasil tangkapan dari jaring ke dalam kapal merupakan tahapan kritis yang berpengaruh terhadap kualitas dan kelangsungan hidup ikan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi kinerja pompa ikan berbasis single screw pump dengan fokus pada karakteristik aliran dan implikasinya terhadap keamanan transport ikan. Desain pompa dikembangkan menggunakan perangkat lunak CAD dan dianalisis melalui simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) pada dua variasi kecepatan putar impeller, yaitu 1000 rpm dan 2000 rpm. Parameter evaluasi meliputi pola aliran, distribusi kecepatan fluida, tingkat turbulensi, gradien tekanan, laju aliran massa, serta potensi beban mekanis dan keausan material. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kecepatan 1000 rpm, aliran fluida cenderung lebih stabil dan kontinu dengan distribusi kecepatan yang lebih merata serta tingkat turbulensi yang lebih rendah dibandingkan 2000 rpm. Kondisi ini menghasilkan gradien tekanan yang lebih landai dan beban mekanis impeller yang lebih kecil, sehingga lebih aman untuk transport ikan hidup dan berpotensi meningkatkan umur pakai material pompa. Sebaliknya, peningkatan kecepatan hingga 2000 rpm menghasilkan laju aliran massa yang lebih tinggi namun disertai peningkatan turbulensi dan risiko kerusakan fisik ikan. Berdasarkan hasil tersebut, kecepatan putar 1000 rpm dinilai lebih optimal untuk aplikasi pompa ikan berbasis single screw pump dari aspek hidrodinamika, keamanan ikan, dan keberlanjutan material.

Kata Kunci: karakteristik aliran; keamanan ikan; *single screw pump*; simulasi cfd; variasi kecepatan putar

Abstract

The transfer of captured fish from fishing nets to vessels is a critical stage that significantly affects fish quality and survival. This study aims to design and evaluate the performance of a fish pump based on a single screw pump, with particular emphasis on flow characteristics and their implications for fish transport safety. The pump geometry was developed using computer-aided design (CAD) software and analyzed through Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations under two impeller rotational speeds, namely 1000 rpm and 2000 rpm. The evaluation parameters include flow pattern, velocity distribution, turbulence intensity, pressure gradient, mass flow rate, as well as the potential mechanical load and material wear on the impeller. The simulation results indicate that at 1000 rpm, the fluid flow exhibits more stable and continuous behavior, with a more uniform velocity distribution and lower turbulence intensity compared to operation at 2000 rpm. This condition produces a gentler pressure gradient and reduced mechanical loading on the impeller, making it safer for live fish transport and potentially enhancing the service life of pump materials. In contrast, increasing the rotational speed to 2000 rpm results in a higher mass flow rate but is accompanied by elevated turbulence levels and an increased risk of physical damage to fish. Based on these findings, an impeller speed of 1000 rpm is considered more optimal for single screw pump-based fish pump applications in terms of hydrodynamic performance, fish safety, and material sustainability.

Keywords: *cfd simulation; fish safety; flow characteristics; rotational speed variation; single screw pump*

1. Pendahuluan

Industri perikanan merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam ketahanan pangan dan perekonomian nasional, khususnya di wilayah pesisir dan kepulauan yang bergantung pada aktivitas penangkapan ikan sebagai sumber utama pendapatan [1]. Dalam sistem operasional penangkapan ikan, proses pemindahan ikan dari alat tangkap ke dalam kapal merupakan tahapan kritis karena berpengaruh langsung terhadap kualitas, tingkat stres, dan kelangsungan hidup ikan, terutama pada aplikasi pemindahan ikan hidup [2].

Metode pemindahan ikan yang umum digunakan, seperti penanganan manual dan pompa konvensional, memiliki berbagai keterbatasan. Penanganan manual berisiko menimbulkan cedera pada ikan serta meningkatkan potensi kecelakaan kerja, sedangkan pompa sentrifugal cenderung menghasilkan turbulensi tinggi dan perubahan tekanan yang

signifikan [3]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan kerusakan fisik ikan, seperti luka eksternal, kerusakan organ internal, serta peningkatan tingkat mortalitas [4].

Seiring dengan perkembangan teknologi rekayasa mesin, pendekatan berbasis desain mekanik mulai dikembangkan untuk menghasilkan sistem pemindahan ikan yang lebih aman dan efisien. Salah satu solusi yang berpotensi diterapkan adalah penggunaan pompa perpindahan positif, khususnya single screw pump, yang dikenal mampu menghasilkan aliran fluida yang kontinu, stabil, dan memiliki tingkat turbulensi yang relatif rendah [5]. Karakteristik ini menjadikan single screw pump lebih sesuai untuk pemindahan material sensitif, termasuk fluida biologis dan organisme hidup [6].

Secara prinsip, single screw pump bekerja dengan mekanisme ulir berputar yang mendorong fluida secara aksial di dalam casing, sehingga menghasilkan aliran yang lebih terkendali dibandingkan pompa dinamis [7]. Namun, kinerja hidrodinamika pompa ini sangat dipengaruhi oleh parameter desain dan kondisi operasi, terutama kecepatan putar impeller. Peningkatan kecepatan putar dapat meningkatkan laju aliran, tetapi juga berpotensi meningkatkan turbulensi, gaya geser, serta beban mekanis pada komponen pompa [8].

Pemanfaatan teknologi Computer-Aided Design (CAD) dan Computational Fluid Dynamics (CFD) memungkinkan evaluasi performa pompa dilakukan secara komprehensif sebelum tahap manufaktur. CFD digunakan untuk menganalisis pola aliran, distribusi tekanan, kecepatan fluida, serta intensitas turbulensi di dalam pompa, sehingga desain dapat dioptimalkan secara hidrodinamika dan mekanika [9], [10].

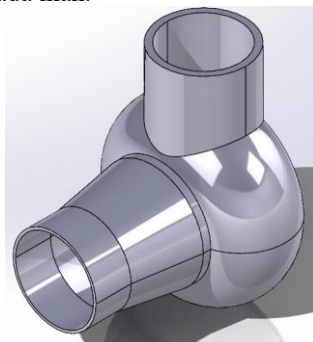
Meskipun single screw pump telah banyak digunakan pada sektor industri, kajian yang secara spesifik membahas penerapannya sebagai pompa ikan dengan fokus pada variasi kecepatan putar impeller dan implikasinya terhadap keamanan ikan serta keberlanjutan material masih terbatas [11]. Selain itu, pengembangan pompa ikan berbasis single screw pump yang dirancang secara khusus untuk kebutuhan perikanan laut di Indonesia dengan pendekatan teknik mesin belum banyak dilaporkan dalam literatur nasional [12].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi kinerja pompa ikan berbasis single screw pump menggunakan simulasi CFD dengan variasi kecepatan putar impeller sebesar 1000 rpm dan 2000 rpm. Analisis difokuskan pada karakteristik aliran, distribusi kecepatan fluida, turbulensi, gradien tekanan, serta laju aliran massa, guna menentukan kondisi operasi yang optimal dari aspek keamanan transport ikan dan ketahanan material pompa.

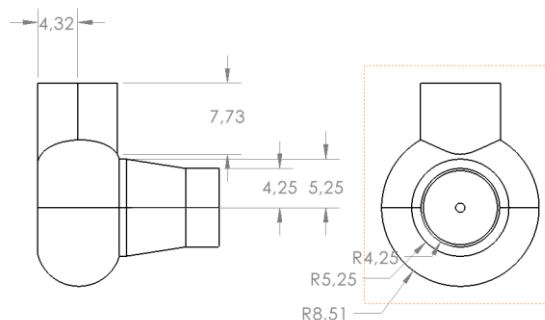
2. Metodologi Penelitian

2.1 Geometri Pompa

Geometri pompa ikan berbasis *single screw pump* dikembangkan menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD). Model terdiri dari komponen utama berupa screw (impeller) dan casing yang dirancang untuk menghasilkan aliran fluida aksial yang kontinu. Dimensi inlet dan outlet masing-masing ditetapkan sebesar 8 inci dan 10 inci untuk menyesuaikan kebutuhan pemindahan ikan berukuran kecil hingga sedang seperti pada gambar 1 dan gambar 2. Desain geometri difokuskan pada kestabilan aliran dan minimisasi perubahan tekanan mendadak yang berpotensi menimbulkan stres pada ikan.



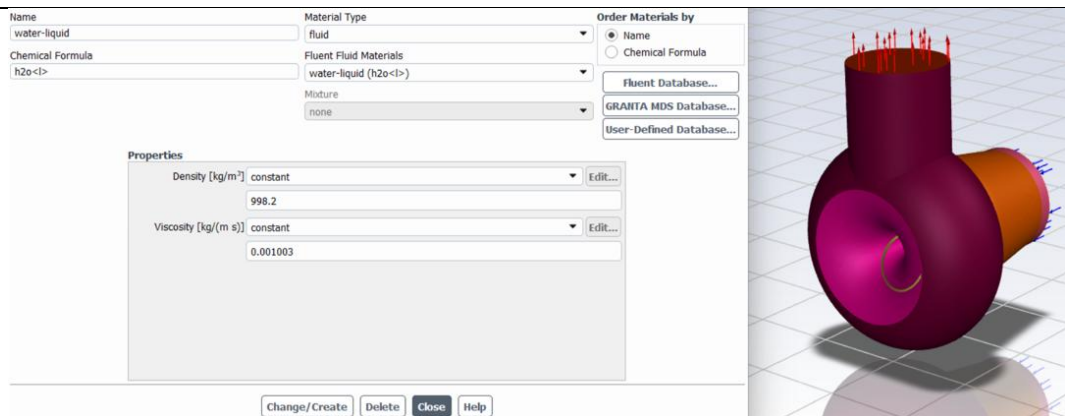
Gambar 1. Desain 3D



Gambar 2. Gambar Teknik

2.2 Model Simulasi CFD

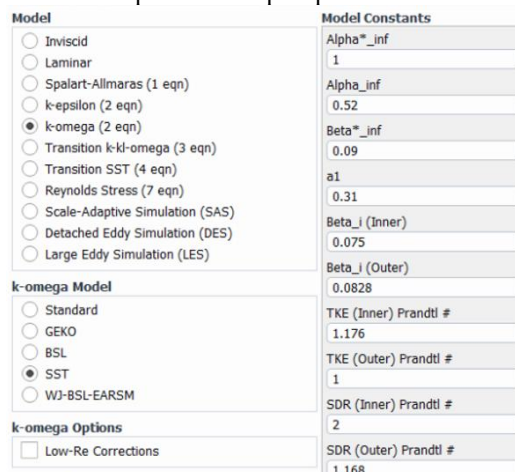
Analisis aliran fluida dilakukan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Model tiga dimensi hasil desain CAD diimpor ke perangkat lunak simulasi untuk dianalisis secara numerik. Fluida kerja dimodelkan sebagai fluida inkompresibel dengan sifat Newtonian dengan densitas $998,2 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas $0,001003 \text{ kg/m.s}$ pada gambar 3. Aliran diasumsikan bersifat steady-state dan isothermal untuk menyederhanakan proses analisis dan memfokuskan kajian pada karakteristik hidrodinamika aliran di dalam pompa.



Gambar 3. Pengaturan Material Fluida

2.3 Kondisi Batas dan Variasi Parameter

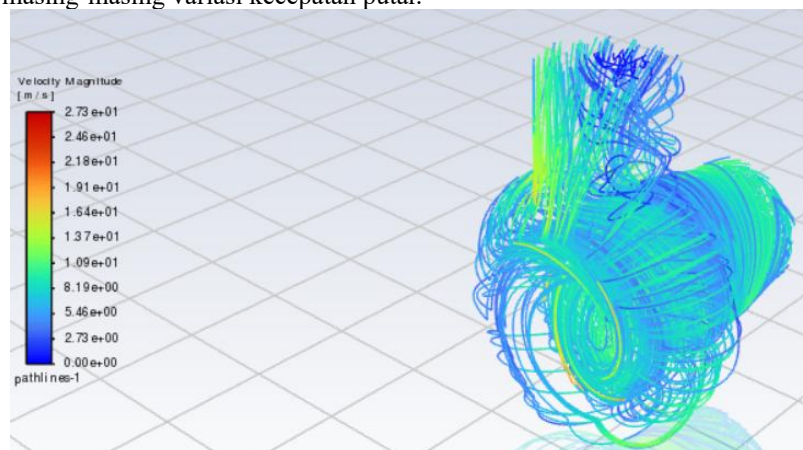
Simulasi dilakukan dengan menerapkan kondisi batas berupa mass flow inlet pada sisi masuk dan pressure outlet pada sisi keluar pompa. Impeller diberikan kondisi rotational motion dengan dua variasi kecepatan putar, yaitu 1000 rpm dan 2000 rpm. Pemilihan variasi kecepatan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan putar terhadap karakteristik aliran dan keamanan transport ikan. Model turbulensi yang digunakan adalah model $k-\omega$ standar, yang umum digunakan untuk simulasi aliran internal pada sistem pompa.



Gambar 4. Viscous Model

2.4 Parameter Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja pompa dilakukan berdasarkan beberapa parameter utama, meliputi pola aliran fluida, distribusi kecepatan, intensitas turbulensi, gradien tekanan, dan laju aliran massa. Selain itu, potensi beban mekanis pada impeller dan implikasinya terhadap keamanan ikan dianalisis secara kualitatif berdasarkan distribusi tekanan dan tingkat turbulensi yang dihasilkan pada masing-masing variasi kecepatan putar.

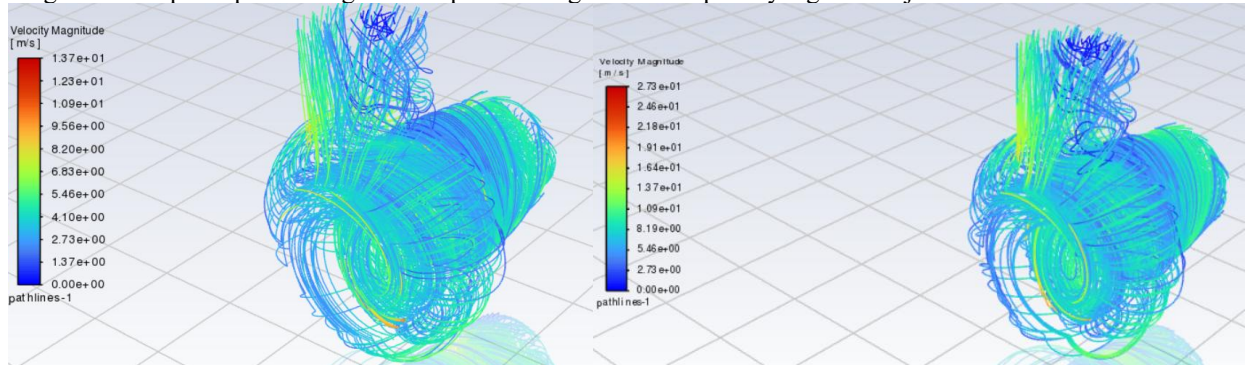


Gambar 5. Validasi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pola Aliran Fluida dalam Pompa

Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa aliran fluida di dalam pompa single screw bergerak secara aksial mengikuti profil ulir impeller. Pada kedua variasi kecepatan putar, aliran bersifat kontinu tanpa terjadinya pemisahan aliran yang signifikan di sepanjang casing. Namun, perbedaan karakteristik aliran mulai terlihat pada daerah outlet, di mana peningkatan kecepatan putar menghasilkan perubahan gradien kecepatan yang lebih tajam.



Gambar 6. Pathlines RPM 1000

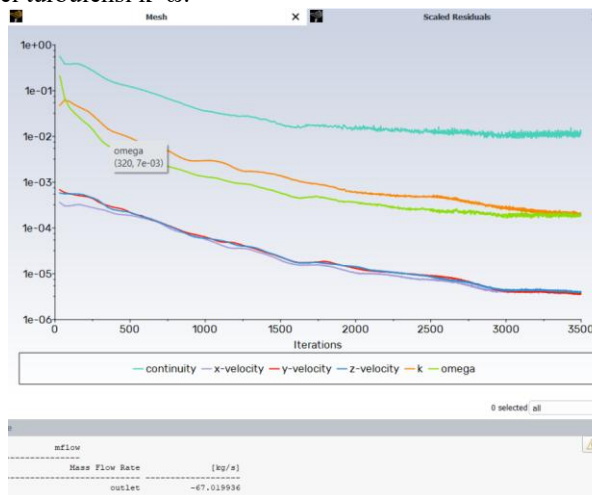
Gambar 7. Pathline RPM 2000

Pola aliran pada kecepatan 1000 rpm menunjukkan karakteristik yang lebih stabil dengan lintasan aliran yang relatif seragam. Kondisi ini mengindikasikan bahwa interaksi antara screw dan casing berlangsung secara halus, sehingga mengurangi potensi fluktuasi aliran yang dapat berdampak negatif pada objek yang ditransportasikan.

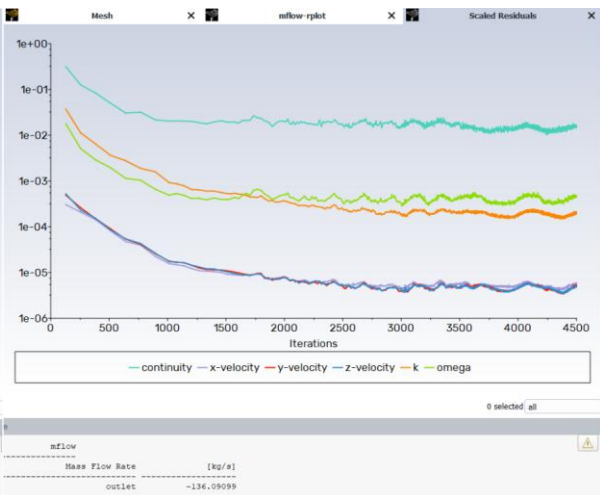
3.2 Analisis Konvergensi Simulasi

Konvergensi solusi numerik dievaluasi menggunakan grafik scaled residual untuk persamaan kontinuitas, momentum, dan turbulensi. Gambar X menunjukkan grafik residual untuk variasi kecepatan putar impeller 1000 rpm dan 2000 rpm.

Pada kedua variasi kecepatan, seluruh residual mengalami penurunan signifikan pada tahap awal iterasi dan mencapai kondisi stabil pada akhir iterasi. Residual kecepatan (x-, y-, dan z-velocity) turun hingga orde 10^{-5} , yang menunjukkan konvergensi yang sangat baik pada persamaan momentum. Residual turbulensi (k dan ω) berada pada kisaran 10^{-4} hingga 10^{-3} dan menunjukkan fluktuasi kecil yang masih dapat diterima untuk simulasi aliran internal dengan model turbulensi k- ω .



Gambar 8. Scaled Residual 1000 RPM



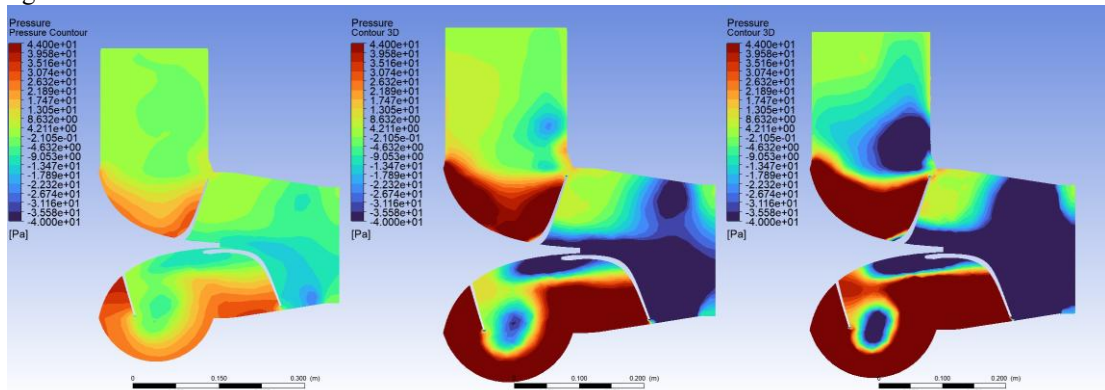
Gambar 9. Scaled Residual 2000 RPM

Residual kontinuitas pada kedua kasus berada pada orde 10^{-2} , namun menunjukkan pola yang stabil tanpa kecenderungan divergensi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa solusi telah mencapai keadaan tunak (steady-state) dan perubahan solusi antar iterasi relatif kecil.

Secara umum, hasil analisis konvergensi menunjukkan bahwa simulasi pada kecepatan 1000 rpm dan 2000 rpm telah mencapai solusi numerik yang stabil dan layak digunakan untuk analisis karakteristik aliran serta evaluasi kinerja pompa ikan. Perbedaan tingkat fluktuasi residual antara kedua variasi kecepatan juga mencerminkan perbedaan karakteristik aliran, di mana kecepatan putar yang lebih tinggi menghasilkan kondisi aliran yang lebih dinamis.

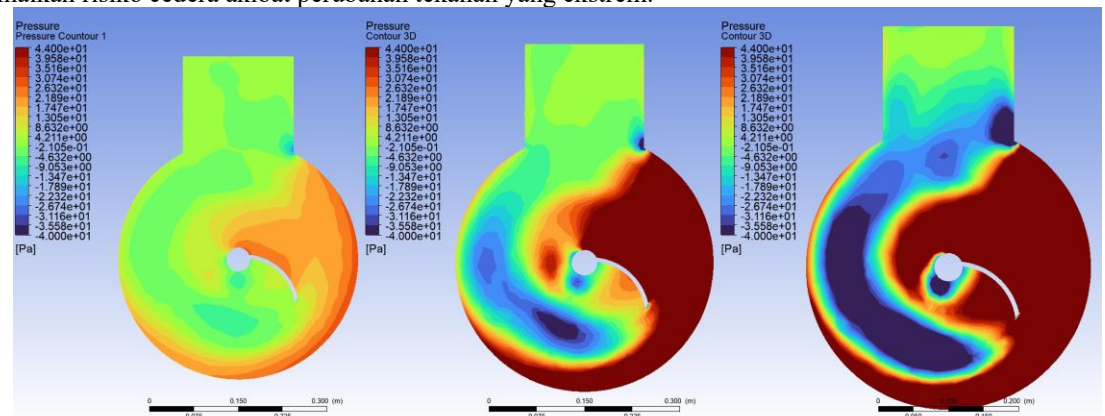
3.3 Kontur Tekanan

Gambar 9 & gambar 10 menunjukkan distribusi kontur tekanan pada pompa ikan berbasis *single screw pump* untuk variasi kecepatan putar impeller 1000 rpm, 2000 rpm, dan 3000 rpm yang ditinjau pada bidang XY dan YZ. Kontur tekanan ditampilkan dengan rentang nilai yang sama pada seluruh variasi kecepatan untuk memastikan konsistensi perbandingan hasil simulasi.



Gambar 10. Kontur Tekanan pada *plane XY*

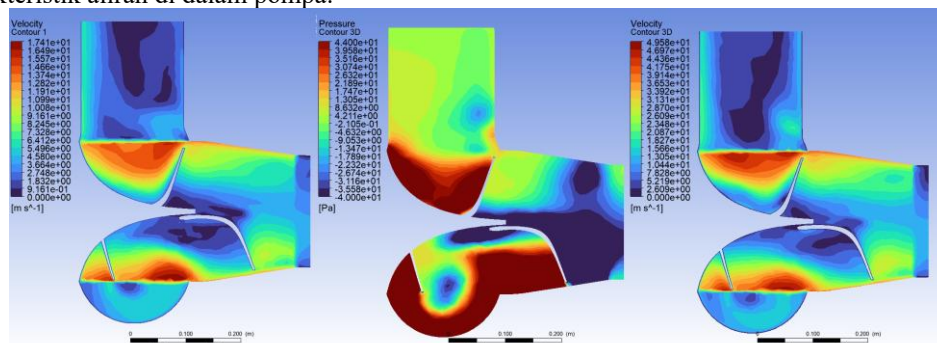
Secara keseluruhan, peningkatan kecepatan putar impeller menyebabkan kenaikan gradien tekanan dan ketidakseragaman distribusi tekanan di dalam pompa. Dari sudut pandang aplikasi pompa ikan, kondisi pada 1000 rpm menunjukkan karakteristik tekanan yang lebih stabil dan landai, sehingga lebih sesuai untuk transport ikan hidup karena meminimalkan risiko cedera akibat perubahan tekanan yang ekstrem.



Gambar 11. Kontur Tekanan pada *plane YZ*

3.4 Kontur Kecepatan

Gambar 11 menunjukkan kontur kecepatan aliran fluida pada pompa ikan berbasis *single screw pump* untuk variasi kecepatan putar impeller 1000 rpm, 2000 rpm, dan 3000 rpm. Visualisasi dilakukan pada tiga bidang potong, yaitu *plane XY*, *plane YZ*, serta *plane YZ* dengan posisi yang lebih maju ke arah inlet, guna memperoleh gambaran menyeluruh mengenai karakteristik aliran di dalam pompa.



Gambar 12. Kontur Kecepatan pada *plane XY*

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengevaluasi kinerja pompa ikan berbasis single screw pump melalui simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) pada dua variasi kecepatan putar impeller, yaitu 1000 rpm dan 2000 rpm. Analisis pola aliran menunjukkan bahwa pada kecepatan 1000 rpm, aliran fluida di dalam pompa bersifat lebih stabil dan kontinu dengan distribusi kecepatan yang lebih merata serta tingkat turbulensi yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan 2000 rpm. Kondisi tersebut menghasilkan gradien tekanan yang lebih landai dan beban mekanis yang lebih kecil pada impeller.

Meskipun kecepatan 2000 rpm menghasilkan laju aliran massa yang lebih tinggi, peningkatan tersebut disertai dengan aliran yang lebih agresif dan potensi risiko kerusakan fisik ikan yang lebih besar. Oleh karena itu, berdasarkan aspek hidrodinamika, keamanan transport ikan, serta keberlanjutan material pompa, kecepatan putar impeller 1000 rpm dinilai lebih optimal untuk aplikasi pompa ikan berbasis single screw pump.

5. Daftar Pustaka

- [1] FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture*, Rome: FAO, 2020.
- [2] Y. Ben-Yami, *Fishing with Light*, Oxford: FAO, 1994.
- [3] M. Summerfelt and C. Penne, *Design and Management of Conventional Fish Handling Systems*, Ames: Wiley-Blackwell, 2007.
- [4] R. Tucker, J. L. Hargreaves, and S. J. Cooke, "Fish handling stress and injury," *Aquacultural Engineering*, vol. 83, pp. 1–10, 2018.
- [5] G. Stewart and J. Roberts, *Progressing Cavity Pumps*, Oxford: Elsevier, 2015.
- [6] C. Rorres, "The mathematics of screw pumps," *SIAM Review*, vol. 42, no. 4, pp. 611–634, 2000.
- [7] J. Karassik et al., *Pump Handbook*, 4th ed., New York: McGraw-Hill, 2011.
- [8] F. M. White, *Fluid Mechanics*, 8th ed., New York: McGraw-Hill, 2016.
- [9] H. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, 2nd ed., London: Pearson, 2007.
- [10] ANSYS Inc., *ANSYS Fluent Theory Guide*, Canonsburg, PA, 2021.
- [11] P. McGurk et al., "Hydrodynamic effects in fish pumping systems," *Journal of Marine Engineering*, vol. 45, pp. 112–120, 2019.
- [12] A. Nasution et al., "Pengembangan teknologi alat tangkap perikanan di Indonesia," *Jurnal Teknik Kelautan*, vol. 12, no. 2, pp. 85–94, 2020. [1] FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture*, Rome: FAO, 2020.