

## Simulasi CFD Turbin Francis Skala Laboratorium Sebagai Alat Bantu Praktikum Menggunakan *Software Solidwork*

Rizal Mudzakir\*, Haryadi dan Heri Widiantoro

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung,  
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung 40012

\*E-mail: [rizalmudzakir.rx@gmail.com](mailto:rizalmudzakir.rx@gmail.com)

Diajukan: 06-11-2023; Direvisi: 19-08-2024; Dipublikasi: 31-08-2024

### Abstrak

Turbin Francis adalah jenis turbin yang paling banyak digunakan di pembangkit listrik tenaga air, karena efisiensinya relatif tinggi dalam rentang operasi yang cukup luas. Namun, alat bantu praktek untuk pengajaran turbin Francis yang dibutuhkan untuk pembelajaran jarang tersedia. Alat bantu praktek dan pengajaran masih diimpor dari luar negeri dengan harga yang relatif mahal. Studi literatur menunjukkan bahwa alat bantu praktek untuk turbin *cross flow* dan turbin *propeller* berhasil dibuat, namun alat bantu praktek turbin Francis belum banyak ditemukan di dalam negeri hingga saat ini. Pada penelitian ini akan dibahas simulasi aliran hasil dari perancangan turbin Francis skala laboratorium sebagai alat bantu praktek dengan *head* sebesar 3 m dan debit sebesar 3 liter/s. Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi tahap kajian terhadap simulasi terhadap rancangan yang sudah ada menggunakan CFD untuk mengetahui kekurangan kinerja alirannya dan sekaligus menjadi bahan evaluasi. Berdasarkan hasil simulasi aliran fluida pada alat didapatkan bahwa kapasitas daya turbin untuk model rancangan yang telah dibuat adalah sebesar 112 Watt, sedangkan efisiensi hidroliknya adalah 56%. Kecepatan air pada turbin berkisar antara 1 hingga 4 m/s, dan tekanan air berkisar dari 0.9 hingga 1 bar. Tidak ada daerah tekanan rendah yang berpotensi untuk terjadi kavitasi. Untuk meningkatkan efisiensi dapat dilakukan optimasi pada bagian spiral case dengan mengurangi luas penampang dibagian ujung *spiral case* agar penurunan distribusi kecepatan yang dihasilkan menjadi lebih halus.

**Kata kunci:** turbin Francis, alat bantu praktek, simulasi aliran.

### Abstract

*Francis turbine is the most widely used type of turbine in hydropower plants, because of its relatively high efficiency over a wide range of operating conditions. However, practical teaching aids for Francis turbine are rarely available, and the available teaching aids and equipment are usually imported from abroad at a relatively high cost. Literature studies indicate that practical teaching aids for cross flow turbines and propeller turbines have been successfully developed, but practical teaching aids for Francis turbines are still scarce in the country. This study discusses the flow simulation results of a laboratory-scale Francis turbine design as a practical teaching aid with a head of 3 m and a flow rate of 3 liters/s. The research stages include a study of the existing design using CFD simulation to identify performance deficiencies and evaluate them. Based on the fluid flow simulation results of the equipment, the turbine power capacity for the designed model was found to be 112 watts, while its hydraulic efficiency was 56%. The water velocity at the turbine ranged from 1 to 4 m/s, and the water pressure ranged from 0.9 to 1 bar. There were no low-pressure areas that could potentially cause cavitation. To improve efficiency, optimization can be done on the spiral case by reducing the cross-sectional area at the end of the spiral case so that the resulting speed distribution decrease becomes smoother.*

**Keywords:** Francis turbine, practice aids, flow simulation

### 1. Pendahuluan

Turbin Francis merupakan turbin yang paling banyak digunakan di pembangkit listrik tenaga air, karena efisiensinya relatif tinggi dalam jangkauan operasi yang luas [1]. Untuk memahami prinsip kerja turbin Francis dapat dilakukan dengan melakukan praktikum menggunakan alat bantu praktek turbin Francis pada skala laboratorium. Namun turbin Francis yang digunakan sebagai alat bantu praktek dan bahan pembelajaran ini relatif jarang ditemukan di Indonesia [2]. Alat bantu praktek turbin Francis masih diimpor dari luar negeri dengan harga yang relatif mahal. Sehingga, dibutuhkan alat bantu praktek turbin Francis dalam negeri dengan harga yang lebih ekonomis. Studi literatur menunjukkan terdapat

beberapa alat bantu praktek yang berhasil dibuat di Indonesia. Alat bantu praktek turbin *crossflow* dengan efisiensi 14.21 % telah dibuat oleh Universitas Bandar Lampung dan alat bantu praktek turbin *propeller* juga telah berhasil dibuat menggunakan mesin CNC di Politeknik Negeri Bandung dengan efisiensi 16.7-18.8 % [3-4]. Sejauh ini belum ditemukan pembuatan alat bantu praktek turbin Francis di dalam negeri yang dilakukan karena pembuatan alat bantu praktek turbin Francis cenderung lebih sulit dibandingkan dengan jenis turbin air lainnya.

Turbin air yang baik adalah yang memiliki efisiensi tinggi dan terhindar dari kavitasi. Saat ini terjadi perubahan dalam filosofi pembuatan sudu turbin dari metode lama, yaitu dengan melakukan *planting* baja cor, menjadi metode baru yang menggunakan material *stainless steel* [5]. Saat ini, dengan semakin terjangkaunya harga dan biaya operasional 3D *printer*, pembuatan model dengan menggunakan 3D *printer* dapat dilakukan dengan mudah. Sehingga rancangan alat ini pada bagian *runner* dan *spiral case* menggunakan material PLA+ yang dibuat menggunakan metode 3D *printing*.

Rancangan dari turbin Francis untuk skala laboratorium telah dibuat dengan konsep seperti pada Gambar 1. Konsep rancangan turbin Francis ini terdiri beberapa bagian diantaranya *runner*, *spiral case*, *guide vane* dan juga *draft tube* yang menggunakan leher angsa agar air dapat merendam *runner* dan memutar *runner* terlebih dahulu sebelum keluar menuju outlet. Gambar 1 menunjukkan hasil konsep rancangan turbin Francis skala laboratorium yang sudah pernah dirancang dan dibuat dengan *head* sebesar 3.4 m, debit sebesar 0.006 m<sup>3</sup>/s dan kecepatan putaran yang direncanakan adalah sebesar 500 rpm [6].

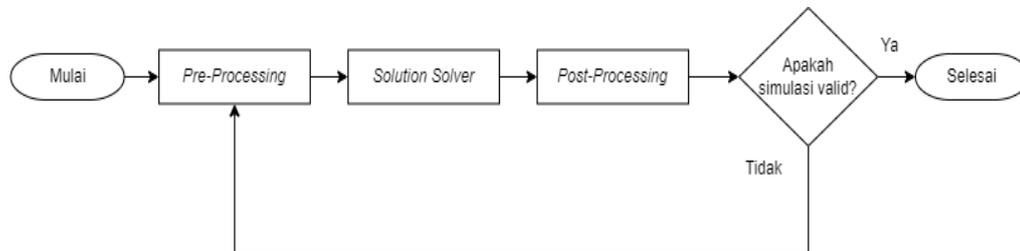


**Gambar 1.** Turbin Francis skala laboratorium

Melalui penelitian ini akan dilakukan simulasi aliran turbin Francis skala laboratorium sebagai alat bantu praktik untuk mengevaluasi performa turbin dan mengidentifikasi kekurangan kinerja alirannya. Penelitian ini mengisi *gap* yang ada dalam studi sebelumnya, dimana kebanyakan penelitian masih terbatas pada simulasi skala besar atau analisis teoritis, sementara penelitian ini difokuskan pada skala laboratorium yang lebih praktis dan aplikatif. Keunggulan dari penelitian ini dibandingkan dengan yang sudah ada adalah penggunaan pendekatan simulasi yang lebih mendetail pada skala kecil, memungkinkan identifikasi masalah yang lebih spesifik dan memberikan solusi perbaikan yang lebih terarah. Hasil dari simulasi ini diharapkan dapat memperbaiki rancangan yang sudah ada dan mengidentifikasi masalah pada alat, sehingga dapat menjadi rujukan dalam peningkatan rancangan selanjutnya.

## 2. Material dan metodologi

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan melakukan simulasi aliran menggunakan *software* Solidworks. Metode penelitian pada simulasi tersebut terdiri dari tiga tahap utama: tahap *pre-processing*, tahap *solution solver*, dan tahap *post-processing*, yang akan dijelaskan secara detail pada diagram Gambar 2 [7].



**Gambar 2.** Diagram alir metodologi penelitian

### 2.1. Tahap Pre-Processing

Langkah pertama dalam penelitian yang akan dilakukan yaitu tahap *pre-processing* yang terdiri dari mempersiapkan data awal dan parameter yang dibutuhkan untuk simulasi, menyiapkan model yang akan digunakan dalam simulasi, melakukan *meshing* pada model simulasi, menentukan bahan dan model dalam simulasi, serta mendefinisikan kondisi batas pada model simulasi. Berikut adalah penjelasan dari tahapan dari *pre-processing* yang akan dilakukan [8-9].

#### 2.1.1. Menyiapkan data awal dan model simulasi alat

Dalam tahap ini, disiapkan data awal yang diperlukan dan model CAD dari turbin Francis skala laboratorium yang akan disimulasikan.

#### 2.1.2. Meshing

Setelah melakukan verifikasi model CAD, *software* Solidwork secara otomatis akan membuat volume fluida dengan mendefinisikan *computational domain* dari model. Setelah itu akan dilakukan proses *meshing* pada domain fluida model yang telah dibuat untuk menghasilkan simulasi yang mendekati keadaan yang sebenarnya.

#### 2.1.3. Setting Boundary Condition

Menentukan jenis analisis, fluida material, dan model yang akan dimasukkan dalam simulasi. Berikut adalah beberapa parameter yang harus ditentukan dalam melakukan setting *boundary condition*: (a) Tipe aliran fluida yang akan digunakan, (b) Jenis fluida yang akan digunakan dalam simulasi, (c) Jenis aliran, cara menentukan jenis aliran yang digunakan adalah melalui perhitungan bilangan *reynolds* yang dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (1), dan (d) Penentuan *inlet*, *outlet*, serta *rotating region*.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Pada lubang *inlet* aliran yang berfungsi sebagai tempat masuknya aliran air akan dimasukkan tekanan yang didapatkan dari hasil perhitungan persamaan Bernoulli yang ditunjukkan pada Persamaan (2) [10].

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2)$$

Selain itu, ditentukan juga intensitas turbulen menggunakan Persamaan (3) [11].

$$I_t = \frac{0,16}{Re^{\frac{1}{8}}} \times 100\% \quad (3)$$

Bagian *outlet* akan ditentukan parameter tekanan dan posisi lubang keluaran aliran air atau *outlet* juga harus ditentukan seperti pada bagian *inlet*. *Rotating region* merujuk pada area pada alat yang mengalami gerakan berputar atau rotasi yaitu pada bagian *runner* dengan memasukkan kecepatan putar yang divariasikan. Metode yang digunakan adalah menggunakan metode *rotating frame* untuk mengetahui daya yang dihasilkan pada variasi kecepatan putaran *runner* [12].

## 2.2. Tahap Solution Solver

Secara umum, hidrodinamika dalam aliran fluida mampat dinyatakan dalam persamaan kontinuitas dan Persamaan aliran Navier-Stokes, yang diperoleh dari kontinuitas dan persamaan kekekalan momentum [13]. *Solution solver* ini akan memecahkan persamaan Navier-Stokes dan persamaan-persamaan terkait untuk memodelkan aliran fluida dan interaksi dengan geometri turbin. Solusi numerik akan ditemukan melalui iterasi dan pemecahan persamaan yang kompleks [14]. Pada tahap ini, juga dilakukan pengaturan parameter simulasi, seperti kecepatan iterasi, konvergensi, atau model turbulensi yang akan digunakan. Tingkat keakuratan hasilnya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi batas yang telah ditetapkan, hasil penggabungan elemen *mesh*, dan juga kesalahan numerik yang mungkin terjadi [15].

## 2.3. Tahap Post-Processing

Setelah *running* selesai, dilakukan tahap *post-processing* yang meliputi analisis hasil simulasi yang telah dilakukan. Untuk menghitung efisiensi daya mekanis yang dihasilkan dari proses simulasi digunakan Persamaan (4).

$$\eta_t = \frac{P_M}{P_H} \times 100\% \quad (4)$$

Dalam analisis hasil simulasi, pembahasan difokuskan pada pola aliran fluida dan *cut plot* yang menunjukkan distribusi kecepatan dan tekanan.

## 3. Hasil dan pembahasan

Hasil pada penelitian ini disajikan dalam tiga pembahasan yaitu proses simulasi dan hasil analisis simulasi.

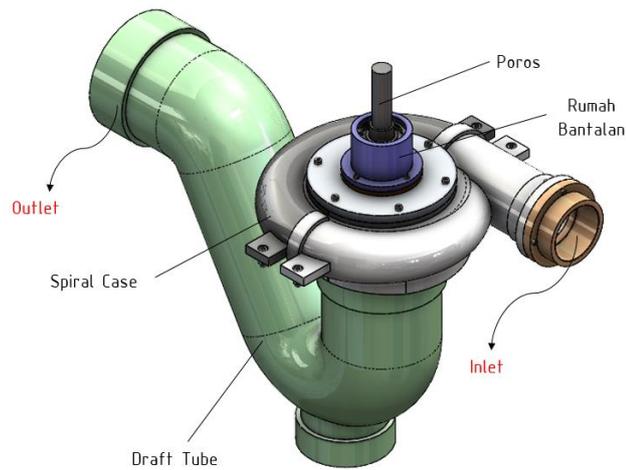
### 3.1. Proses Simulasi

Simulasi akan dilakukan sesuai dengan metode yang telah direncanakan sebelumnya, yang terdiri dari tiga tahap yaitu *pre-processing*, *solution solver*, dan *post-processing*. Data awal yang digunakan adalah disesuaikan dengan pompa dan peralatan yang digunakan di laboratorium. Tabel 1 menunjukkan data yang akan digunakan pada simulasi.

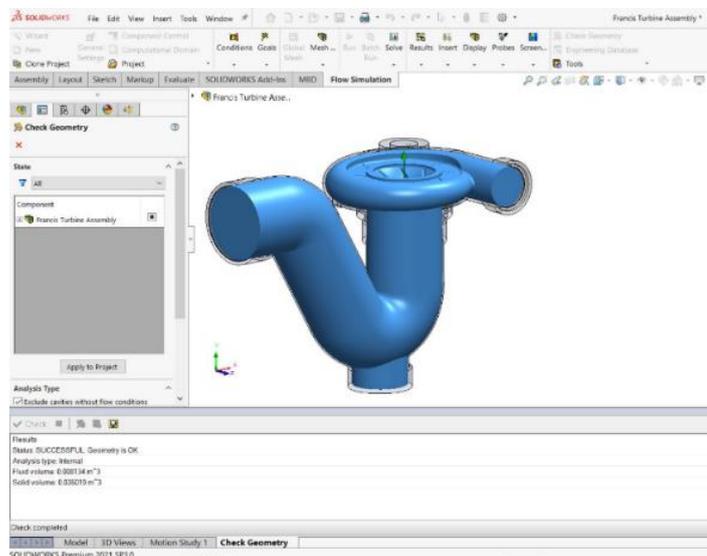
**Tabel 1.** Data *input* simulasi

No	Parameter	Nilai
1.	<i>Head</i>	4 meter
2.	Tekanan aliran masuk	128592 Pa
3.	Kecepatan putaran turbin	Divariasikan dimulai dari 0 rpm hingga 2000 rpm
4.	Debit	0,003 m <sup>3</sup> /s

Metode yang digunakan pada simulasi ini adalah menggunakan metode *rotating frame* sehingga nilai kecepatan putaran turbin akan dimasukkan secara variasi dimulai dari 0 rpm hingga 2000 rpm untuk menentukan pada kecepatan putaran berapa turbin menghasilkan daya maksimum. Disiapkan juga model CAD (Gambar 3) yang telah dilakukan pengecekan agar secara otomatis mendefinisikan *computational domain* oleh *software* Solidwork (Gambar 4).

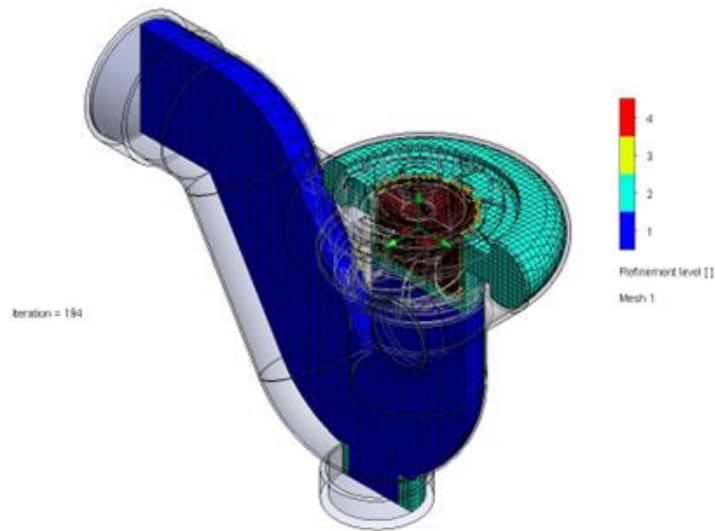


**Gambar 3.** Model CAD turbin Francis skala laboratorium



**Gambar 4.** Domain fluida

Selanjutnya dilakukan pembuatan *meshing* pada domain fluida yang akan dilakukan simulasi seperti Gambar 5.

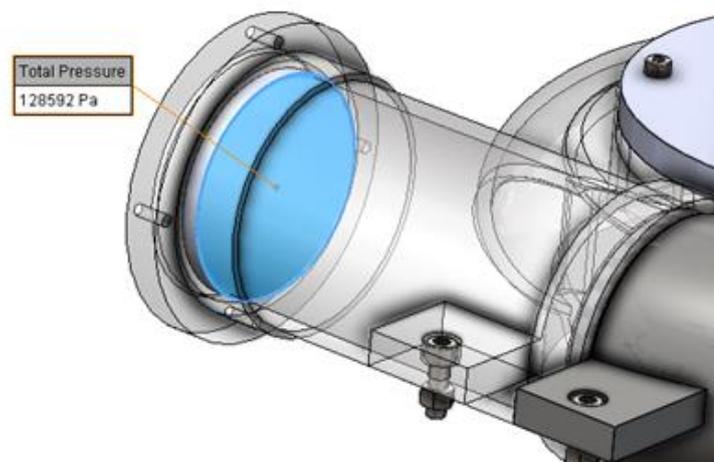


**Gambar 5.** Hasil *meshing* pada domain fluida

Kemudian dilakukan pengaturan *boundary condition* dengan data dan parameter yang ditunjukkan pada Tabel 2.

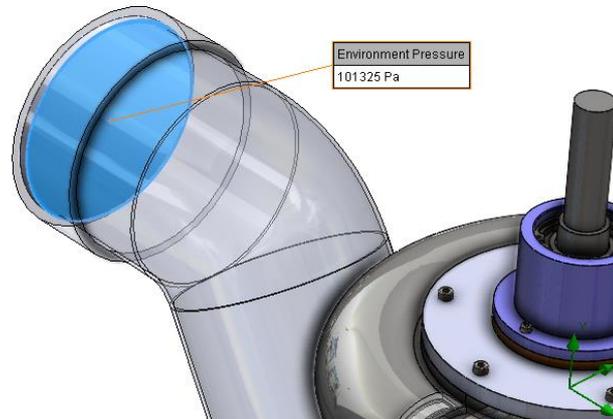
**Tabel 2.** Pengaturan *boundary condition* pada simulasi

<i>Analysis Type Simulation</i>	aliran internal
Jenis fluida	fluida air (massa jenis : 997 kg/m <sup>3</sup> )
Jenis aliran	berdasarkan perhitungan yang didapat nilai $Re > 2300$ sehingga aliran ini termasuk pada aliran jenis turbulen
Inlet	Ditunjukkan pada domain simulasi bagian spiral case Gambar 6

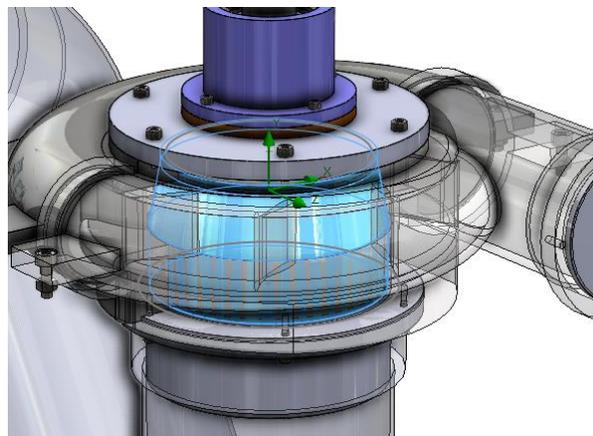


**Gambar 6.** Domain inlet simulasi

Pada permukaan inlet *spiral case* dimasukkan nilai tekanan aliran masuk yaitu sebesar 128592 Pa (Gambar 7) dan juga dimasukkan intensitas turbulen yang telah dilakukan perhitungan juga yaitu sebesar 3.8 %. Bagian *outlet* dipilih bagian ujung *draft tube* atau keluaran dari aliran air dan domain dari *rotating region* dipilih pada daerah bagian *runner* (Gambar 8).



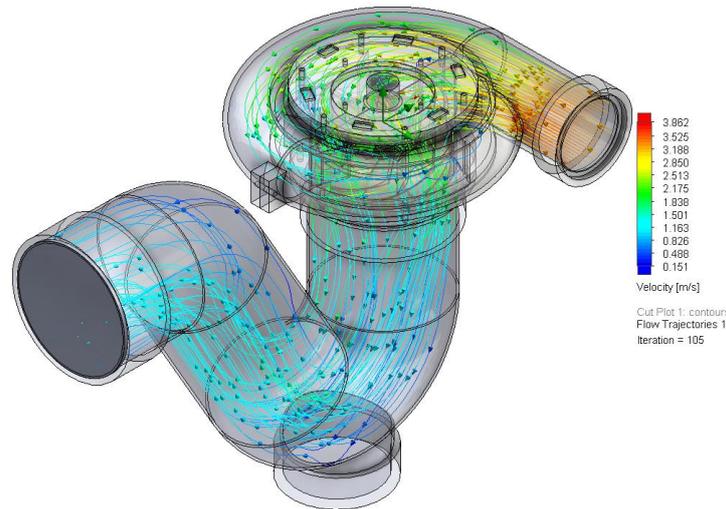
**Gambar 7.** Domain *outlet* simulasi



**Gambar 8** Domain *rotating region*

### 3.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan

Pola aliran dan distribusi kecepatan yang akan dilakukan analisa adalah ketika kecepatan putaran turbin sebesar 500 rpm karena merupakan nilai kecepatan putaran yang telah direncanakan sebelumnya ketika melakukan perhitungan dan perancangan turbin. Pola aliran fluida sudah cukup baik dari bagian *inlet* hingga air keluar lagi melalui *outlet*. Gerakan dari pola aliran fluida yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 9.

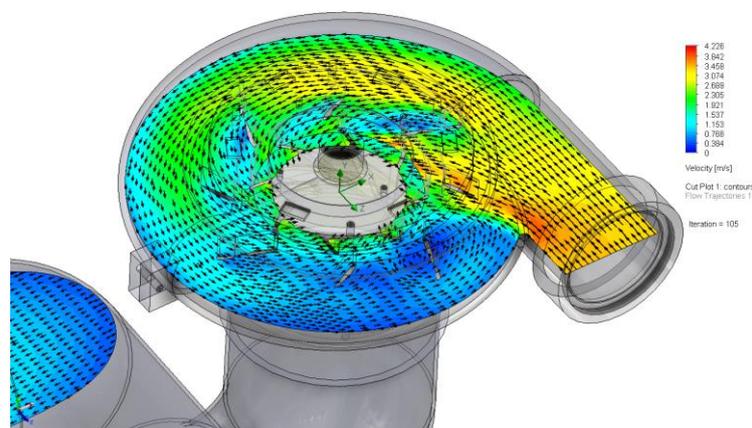


**Gambar 9.** Aliran fluida turbin

Berdasarkan Gambar 9, aliran air memiliki nilai kecepatan yang tinggi saat memasuki *runner*. Hal ini dapat terjadi karena energi tekanan pada air saat memasuki *spiral case* akan diubah menjadi energi kinetik sebelum mengenai *runner* dan kemudian energi kinetik akan kembali menjadi warna biru karena berubah menjadi energi putaran ketika sudah melewati *runner*.

Ketika sudah melewati *runner* nilai dari kecepatan air juga akan semakin berkurang karena luas penampang yang menjadi lebih besar. Pada pola aliran yang dihasilkan tidak ditemukan *swirl* yang dimana kondisi tersebut harus dihindari karena dapat menyebabkan peningkatan turbulensi dan menghasilkan konsumsi energi yang lebih pada aliran.

Nilai dari kecepatan yang dihasilkan dapat diperjelas dengan hasil distribusi kecepatan yang dihasilkan yang dapat dilihat pada Gambar 10.

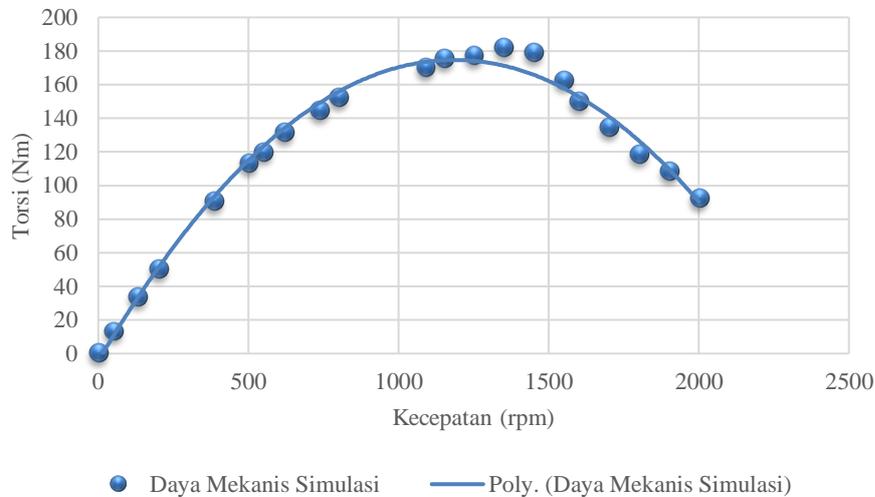


**Gambar 10.** Distribusi kecepatan aliran turbin Francis

Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa nilai kecepatan yang terjadi pada turbin yang dimulai dari *inlet* di bagian *spiral case* kemudian berakhir di *outlet* di bagian leher angsa berkisar di antara 0 hingga 4.2 m/s. Hasil simulasi masih dapat dilakukan optimasi desain sehingga tidak terjadi penurunan nilai kecepatan yang signifikan di bagian ujung *spiral case* dan kecepatan akan berkurang secara dari *inlet* hingga bagian ujung *spiral case*. Optimasi ini dapat dilakukan dengan

mengurangi ukuran penampang di bagian ujung *spiral case* yang ditandai dengan warna biru pada distribusi nilai kecepatan.

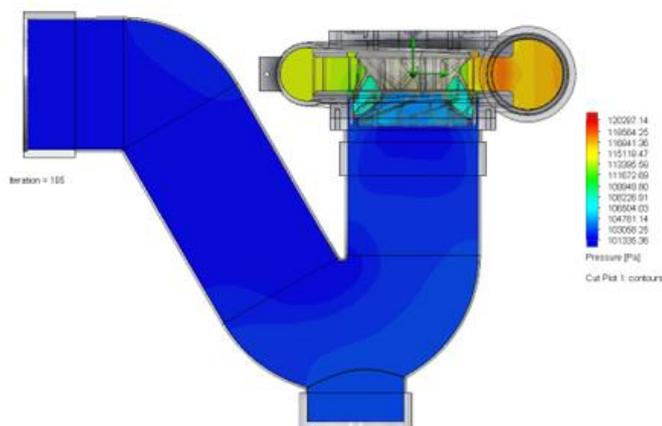
Distribusi nilai kecepatan yang dihasilkan dari simulasi tersebut dapat memutarakan turbin dengan torsi tertentu yang nilainya dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Hasil daya mekanis simulasi

Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada model yang telah dibuat akan memiliki daya terbesar pada variasi kecepatan putaran 1350 rpm dan akan semakin berkurang ketika nilai kecepatan putarannya lebih besar dari 1350 rpm. Pada kecepatan 500 rpm daya mekanik yang dihasilkan pada desain yang baru adalah sebesar 112 Watt. Sehingga efisiensi yang dihasilkan adalah sebesar 56.5 %.

Pada hasil distribusi tekanan turbin menunjukkan bahwa tidak ada daerah tekanan rendah yang berpotensi untuk terjadi kavitasi dan tekanan air berkisar dari 0.9 hingga 1 bar. Distribusi tekanan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Distribusi tekanan turbin Francis

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pola aliran pada turbin Francis skala laboratorium yang dirancang sudah cukup baik, dengan efisiensi daya mekanis mencapai 56.5% pada kecepatan putar 500 rpm. Kecepatan air yang

dihasilkan berkisar antara 1 hingga 4.2 m/s, dengan kecepatan tertinggi terjadi di antara *guide vane* sebelum menabrak *runner*, dan penurunan kecepatan yang halus pada penampang *spiral case*. Tekanan air di sekitar turbin bervariasi antara 0.9 hingga 1 bar, tanpa adanya daerah tekanan rendah yang dapat menyebabkan kavitasi. Hasil simulasi ini dibandingkan dengan data dari literatur dan standar desain turbin Francis, menunjukkan bahwa performa yang diperoleh masih dapat dioptimalkan, khususnya pada bagian *spiral case*. Salah satu strategi yang diusulkan adalah pengurangan luas penampang pada area yang ditandai dengan warna biru, yang dapat menghaluskan distribusi perubahan kecepatan dan berpotensi meningkatkan efisiensi keseluruhan turbin. Dengan penyesuaian ini, hasil simulasi diharapkan dapat lebih mendekati efisiensi yang dicapai oleh desain turbin yang telah divalidasi sebelumnya dalam literatur.

#### Daftar Pustaka

- [1] Smith, R.J., Francis Turbine. Encyclopædia Britannica. Tersedia pada laman: <https://www.britannica.com/technology/Francis-turbine>. (Diakses pada 28 Maret 2023).
- [2] Haryadi. Design and Manufacturing of Francis Turbine Runner for Practice Aids. Prosiding dalam Seminar International Research Conference of Social Science and Engineering (IRCIM 2.0). April 2019; 4(01): p. 88–100.
- [3] Sihaloho, D.L. Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang. Skripsi. Indonesia: Universitas Lampung, 2017.
- [4] Haryadi, Mulyana, D., Atmaji, T.D., dan Mahardika, D.R. Pembuatan Runner Turbin Propeler Menggunakan CNC. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri. November 2018; pp. 17–21.
- [5] Brekke, H. Design, Performance and Maintenance of Francis Turbines. Glob. J. Res. Eng, 13th ed., 2013, pp. 29–40.
- [6] Mudzakir, R. Rekayasa Ulang Turbin Francis Untuk Alat Bantu Praktek. Skripsi. Indonesia: Politeknik Negeri Bandung, 2023.
- [7] Wie, D.S. Perencanaan dan Implementasi Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Jurnal Teknik Elektro. Desember 2019; 7(01): p. 31-36.
- [8] Menter, F.R., Kuntz, M., and Langtry, R.B. Ten Years of Industrial Experience with The SST Turbulence Model. Turbulence, Heat and Mass Transfer 4. 2003 Januari.
- [9] H. H. Jassim, F. M., Al-Dabbagh, A. S., & Al-Kayiem. Turbulence Models Used for Computational Fluid Dynamics (CFD) of forced convection heat transfer,” in Case Studies in Thermal Engineering, 14th ed., 2019.
- [10] M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, and M. B. Bailey. Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 8th ed. New York: John Wiley & Sons, 2014.
- [11] S. Pope, Turbulent Flows. Cambridge University Press.
- [12] N. K. Bhargava, R.K., & Maheshwari. CFD Analysis of Gas Turbine Blade in Rotating Frame. Int. J. Mod. Eng. Res. pp. 890–894.
- [13] P. J. P. and J. C. Leylegian, Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics, 8 th. New York, 2011.
- [14] B. R. Munson, T. H. Okiishi, W. W. Huebsch, Rothmayer, and A. P, Fundamentals of Fluid Mechanics Seventh Edition. 2013.
- [15] M. A. Yudika. Rekayasa Ulang Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Portabel Tipe Cross Flow. Politeknik Negeri Bandung. 2018.