Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

ISSN (Online) 3025-2598

Artikel Penelitian

Optimasi Desain Turbin Francis: Pendekatan Numerik untuk Efisiensi Energi Terbarukan

Adly Havendri[a], Gusriwandi[b], Ferry Pratama Putra[c], Dendi Adi Saputra[d]

[a] *Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Kota Padang 25163, Indonesia*
[b] *Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Kota Padang 25163, Indonesia*
[c] *Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Kota Padang 25163, Indonesia*
[d] *Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Kota Padang 25163, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 04 Desember 2023
Revisi Akhir: 18 Desember 2023
Diterbitkan *Online*: 29 Desember 2023

KATA KUNCI

Optimasi desain,

Tturbin Francis,

Pendekatan numerik,

Energi terbarukan,

Aliran fluida

KORESPONDENSI

E-mail: adlyhave@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

The world's energy demand is expected to increase significantly by 2040, especially in developing countries in Asia. The utilization of renewable energy, particularly hydropower, emerges as a vital solution to meet this energy demand. The Francis turbine, as one of the key components in hydropower generation, plays a crucial role in this process. However, optimizing the design of this turbine poses a time-consuming challenge, even for experienced professionals, due to its complex geometry. This research aims to address this issue by proposing a numerical approach to optimize the design of the runner and draft tube in Francis turbines. The methodology involves the utilization of the Bovet empirical equations to obtain the blade and shroud curve shapes of the runner. The numerical approach employs finite difference methods to solve the Poisson equations in cylindrical coordinates, enabling streamline modeling and analysis in the meridional plane of the Francis turbine runner. The use of the Python programming language facilitates this process. In this study, input parameters such as flow rate, head, and turbine speed can be varied to expedite the optimization process. It is expected that the findings of this research will enhance the efficiency of Francis turbines in generating electricity from hydropower sources and contribute to the global development of renewable energy technology.

1. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya populasi dunia dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, kebutuhan akan energi terus meningkat secara signifikan. Diprediksi bahwa kebutuhan energi global akan meningkat sebanyak 30% dari tahun 2015 hingga 2040, dengan peningkatan yang lebih dramatis terjadi di negara-negara berkembang, terutama di Benua Asia, yang diperkirakan membutuhkan energi sebanyak 50% lebih banyak daripada saat ini [1]. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat ini secara berkelanjutan, perhatian yang besar telah diberikan pada pengembangan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu potensi terbesar dalam memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan adalah energi terbarukan. Dalam konteks ini, energi air telah menjadi fokus penting dalam pengembangan teknologi energi terbarukan di seluruh dunia. Energi air memiliki beberapa keunggulan utama, termasuk ketersediaan yang konsisten, tidak memancarkan emisi karbon, dan dapat diandalkan sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui [2].

https://doi.org/10.25077/xxxxx

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Dalam sistem pembangkit listrik tenaga air, turbin memiliki peran yang sangat penting. Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Di antara berbagai jenis turbin yang digunakan, Turbin Francis telah menjadi salah satu pilihan yang umum digunakan. Turbin Francis terkenal karena efisiensinya dalam menghasilkan energi listrik dari aliran air yang bervariasi dan perpindahan head yang besar [3].

Meskipun turbin Francis telah terbukti menjadi pilihan yang andal untuk pembangkit listrik tenaga air, optimasi desain dari komponen-komponennya, terutama runner, tetap menjadi tantangan yang kompleks [4]. Sebagai komponen utama dalam turbin Francis, runner bertanggung jawab untuk menangkap energi dari aliran air dan mentransfernya ke generator. Optimasi desain runner dapat signifikan mempengaruhi efisiensi dan kinerja keseluruhan dari turbin.

Banyak upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin Francis melalui simulasi dengan pendekatan numerik. Namun, optimasi desain runner tetap menjadi tugas yang rumit dan memakan waktu, terutama karena bentuk yang kompleks dan banyaknya parameter yang perlu dipertimbangkan. Penelitian sebelumnya dalam pengembangan desain turbin Francis telah menggunakan pendekatan grafis-analitis yang kompleks, namun kurang memberikan dukungan empiris terhadap pilihan desain yang dibuat [5].

Dalam konteks pengembangan desain turbin Francis, penelitian ini membawa inovasi dengan menerapkan pendekatan numerik yang lebih sistematis dan terstruktur dalam optimasi desain runner. Persamaan empiris Bovet digunakan untuk mendapatkan bentuk kurva dari sudu runner turbin Francis, serta pendekatan numerik dengan metode beda hingga untuk menyelesaikan persamaan Poisson dalam koordinat silinder pada bidang 2 dimensi. Pendekatan ini memungkinkan perolehan garis aliran (*streamline*) yang akurat pada bidang meridional runner turbin Francis, yang merupakan kontribusi penting dalam pemahaman dan perancangan efisien dari komponen tersebut.

Melalui penggunaan metode numerik ini, diharapkan dapat mengatasi beberapa kendala yang dihadapi dalam optimasi desain runner, termasuk kompleksitas bentuk dan parameter yang beragam. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan dari turbin Francis dalam menghasilkan energi listrik dari sumber energi air. Selain itu, penelitian ini juga membuka potensi untuk pengembangan lebih lanjut dalam bidang teknologi energi terbarukan dan rekayasa fluida.

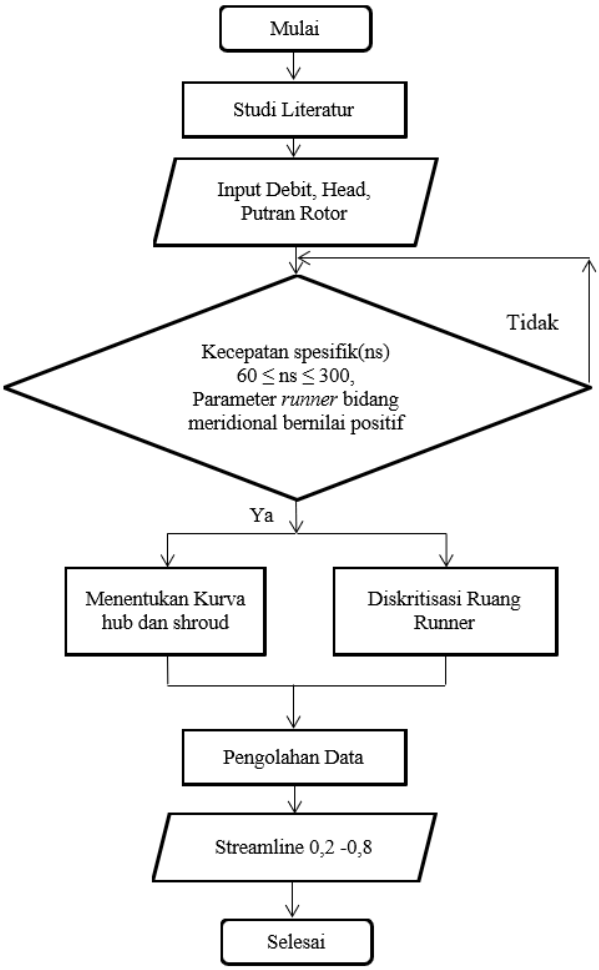
2. METODOLOGI

Tahapan yang dilalui dalam penelitian ini mencakup beberapa langkah yang terstruktur untuk mengoptimalkan desain runner turbin Francis menggunakan pendekatan numerik. Berikut adalah tahapan-tahapan utama yang dilalui dalam penelitian ini:

a. Pemahaman tentang Permasalahan: Tahap awal dalam penelitian ini adalah memahami permasalahan yang ingin dipecahkan, yaitu optimasi desain runner turbin Francis untuk meningkatkan efisiensi dalam menghasilkan energi listrik dari sumber energi air.
b. Pengumpulan Data dan Informasi: Langkah berikutnya adalah mengumpulkan data dan informasi yang diperlukan tentang turbin Francis, termasuk karakteristik aliran air, dimensi turbin, dan parameter desain yang relevan.
c. Pembangunan Konsep: Setelah memahami permasalahan dan mengumpulkan informasi yang diperlukan, penelitian ini melakukan pembangunan konsep mengenai pendekatan numerik yang akan digunakan untuk mengoptimalkan desain runner turbin Francis. Konsep ini melibatkan pemilihan persamaan empiris yang sesuai dan metode numerik yang efektif untuk mencapai tujuan penelitian.
d. Implementasi Metode Numerik: Langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan

 https://doi.org/10.25077/xxxxx

metode numerik yang telah dipilih ke dalam pemodelan komputer. Ini melibatkan penulisan kode komputer menggunakan bahasa pemrograman Python atau alat pemodelan lainnya untuk menyelesaikan persamaan matematika yang mendasari optimasi desain runner.



Gambar 1. Diagram alir penelitian optimasi desain Turbin Francis dengan Pendekatan Numerik

e. Validasi dan Verifikasi: Setelah implementasi, tahap berikutnya adalah validasi dan verifikasi model numerik yang dikembangkan. Ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi numerik dengan data eksperimental atau hasil simulasi lain yang telah diverifikasi.
f. Optimasi dan Analisis: Setelah validasi, langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi desain runner turbin Francis menggunakan model numerik yang telah dikembangkan. Ini melibatkan eksperimen dengan berbagai parameter desain untuk mencari solusi yang optimal yang dapat meningkatkan efisiensi turbin.
g. Interpretasi Hasil: Tahap terakhir adalah interpretasi hasil yang diperoleh dari simulasi numerik dan optimasi desain. Ini melibatkan analisis terhadap perubahan parameter desain terhadap performa turbin, serta identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin.

Untuk mendapatkan kurva *hub* dan *shroud* digunakan persamaan empirik Bovet:

$$\frac{y}{y_m} = 3,08\left(1-\frac{x}{l}\right)\sqrt{\frac{x}{l}}\left(1-\frac{x}{l}\right) \quad (1)$$

Dimana:

- x sebagai variabel *input*, y sebagai variabel *output*
- *subscript* i sebagai *hub*
- *subscript* e sebagai *shroud*
- rentang nilai $x_i : 0 < x_i < 1_i/4$
- rentang nilai $x_e : 0 < x_e < 1_e$

Secara ringkas, diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

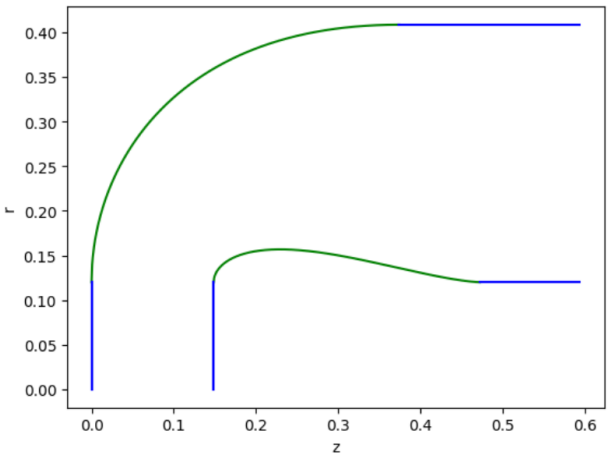
3.1 Prosedur Penentuan Streamline di Bidang Meridional Runner

a. Penentuan dimensi utama *runner* pada bidang meridional, hal yang perlu dipastikan adalah *head*, debit, dan putaran rotor harus memenuhi indikator kecepatan spesifik untuk turbin Francis, sehingga penentuan *streamline* dapat dilakukan. *Hub* dan *Shroud* ditentukan melalui rumus empirik Bovet.
b. Diskritisasi atau *meshing* pada bidang meridional *runner* turbin Francis dilakukan pendekatan numerik sehingga dapat mempermudah penentuan *streamline.*

c. Proses 1 dan 2 dilakukan menggunakan Bahasa pemrograman *python* untuk melakukan perhitungan dan penggambaran *streamline* pada bidang meridional turbin Francis.

3.2 Analisa Hub dan Shroud

Melalui persamaan empirik Bovet kurva *hub* dan *shroud* didapatkan melalui pemrograman yang dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *python*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan kurva *hub* dan *shroud* untuk input parameter debit 2 m^3/s, *head* 60 m, dan putaran rotor 1000 rpm. Dimana bagian *hub* dan *shroud* tersusun atas parameter-parameter pendukung untuk menjelaskan geometri ruang *runner* pada bidang meridional turbin Francis. Nilai kecepatan spesifik (n_s) sangat mempengaruhi bentuk dari *hub* dan *shroud*, dimana indikator keberhasilan dalam pemograman *hub* dan *shroud* yaitu apabila kecepatan spesifik masih terletak pada rentang spesifikasi yang dibutuhkan untuk membentuk geometri *runner* turbin Francis.

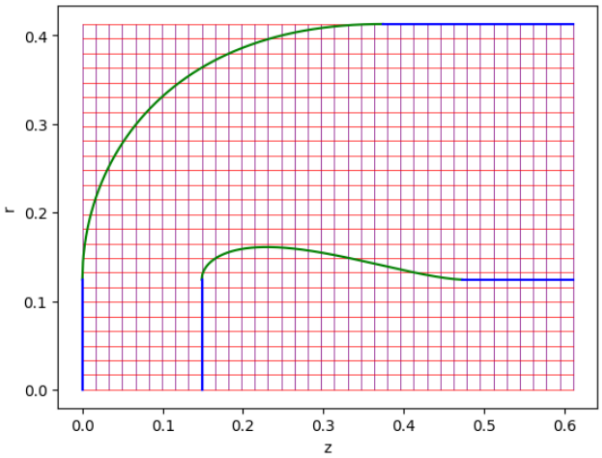


Gambar 2. *Hub* dan *Shroud*

Hal ini ditunjukkan dengan kecenderungan pada bagian *hub* dan *shroud* yang sesuai dengan nilai parameter yang merupakan penyusun bagian tersebut. Apabila rentang indikator tidak terpenuhi maka kondisi debit, *head*, dan putaran rotor sebagai data input tersebut tidak optimal apabila menggunakan turbin Francis. Karena Persamaan Bovet untuk mendapatkan *hub* dan *shroud* merupakan persamaan empirik, maka hanya bisa digunakan pada kondisi ketika semua nilai parameter pada bidang meridional bernilai positif, jika terdapat parameter yang nilainya negatif, maka persamaan Bovet tidak dapat digunakan untuk mendapatkan *hub* dan *shroud*.

3.3 Meshing Ruang Runner di Bidang Meridional

Ruang *runner* yang merupakan domain dibentuk menyerupai persegi panjang untuk dilakukan *meshing* (dibagi) sebanyak M-1 ke arah sumbu z dan sebanyak N-1 pada sumbu r, sehingga menghasilkan bentuk persegi yang ukurannya sama besar di setiap sisinya, *nodal* didefinisikan sebagai garis horizontal dan vertikal yang saling berpotongan. Seperti yang terlihat pada Gambar 3**,** dimana terdapat beberapa *nodal* yang tepat pada sisi *hub* dan *shroud*, hal ini bertujuan untuk mempermudah perhitungan jarak antara sisi bagian dalam ruang *runner* yang telah dibagi menjadi persegi kecil-kecil. Apabila *hub* dan *shroud* memotong bagian persegi tersebut maka sisi horizontal atau vertikal harus ditentukan jaraknya dari *hub/shroud* tersebut, sedangkan pada persegi yang tidak dilewati oleh *hub/shroud* jarak antar sisi nya adalah sama. Pada setiap *nodal* pada domain ruang *runner* di bidang meridional didefinisikan terlebih dahulu, agar program dapat mengenali pada bagian mana *nodal* tersebut berada.



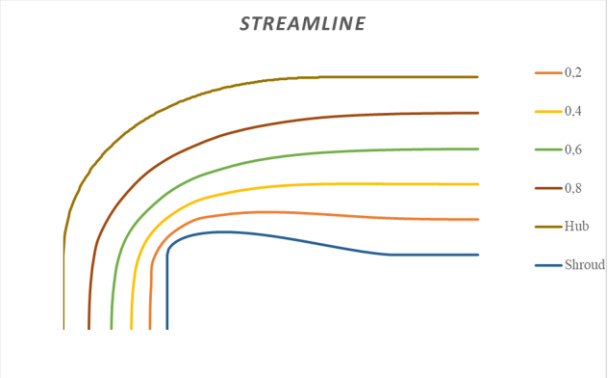
Gambar 3. *Meshing* Ruang *Runner* di Bidang Meridional

3.4 Penggambaran Streamline

Proses iterasi *Liebman* dilakukan untuk menentukan nilai *Streamline* pada setiap *nodal*. Iterasi dilakukan mengacu pada setiap posisi *nodal*

 https://doi.org/10.25077/xxxxx

pada bidang meridional *runner*. Pada bagian *hub* nilai ψ =1 dan pada *shroud* nilai ψ = 0, sehingga nilai *streamline* yang berada di antara bagian *hub* dan *shroud* dapat ditentukan.



Gambar 4. Hasil Penggambaran *Streamline*

Berdasarkan Gambar 4, nilai *streamline* berada pada rentang 0,1 sampai 0,9, sehingga terdapat 9 buah *streamline*. Garis alir atau *streamline* dimulai dari sisi masuk (bagian kiri bawah) hingga sisi keluar pada bagian kanan atas. Penggambaran bidang meridional *runner* turbin Francis dilakukan dengan Bahasa pemrograman *python* untuk memvisualisasikan bentuk *streamline* pada *runner*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

a. Pendekatan numerik yang digunakan dalam penelitian ini dapat mempermudah proses penentuan streamline di bidang meridional runner turbin Francis. Dengan pendekatan ini, proses perhitungan dan penggambaran streamline menjadi lebih sederhana. Hub dan shroud pada runner ditentukan menggunakan rumus empiris Bovet untuk membentuk geometri runner turbin Francis yang optimal sesuai dengan nilai parameter input.. Proses ini mencakup penentuan dimensi utama runner, diskritisasi atau meshing pada bidang meridional, dan iterasi Liebman untuk menentukan nilai streamline pada setiap nodal..
b. Penggunaan bahasa pemrograman Python sebagai alat analisis memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam implementasi prosedur penentuan streamline. Hal ini memungkinkan peneliti untuk melakukan perhitungan dan visualisasi secara lebih terstruktur..

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hannah Ritchie and Max Roser, “Energy,” Journal Of Chemical Process Engineering, 2020, [Online]. Available: urWorldInData.org
[2] P. Sutikno, “Numerical simulation of the Francis turbine and CAD used to optimized the runner design (2nd),” AIP Conf Proc, vol. 1225, pp. 816–825, 2010, doi: 10.1063/1.3464932.
[3] A. Demirbas, “Focus on the world: Status and future of hydropower,” Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy, vol. 2, no. 3, pp. 237–242, 2007, doi: 10.1080/15567240500402859.
[4] K. Nakamura and S. Kurosawa, “Design Optimization of a High Specific Speed Francis Turbine Using Multi-Objective Genetic Algorithm,” International Journal of Fluid Machinery and Systems, vol. 2, no. 2, pp. 102–109, 2009, doi: 10.5293/ijfms.2009.2.2.102.
[5] E. Kocak, S. Karaaslan, N. Yucel, and F. Arundas, “A Numerical Case Study: Bovet Approach to Design a Francis Turbine Runner,” Energy Procedia, vol. 111, no. September 2016, pp. 885–894, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.251.

NOMENKLATUR

n_s	Nilai kecepatan spesifik
x	variabel *input*
y	variabel *output*
subscript i	*hub*
subscript e	*shroud*