

Simulasi Perancangan Turbin Propeller untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Berdasarkan Karakteristik Sungai Maliringan Dengan Metode *Computational Dynamics Fluid (CFD)*

Levin Halim¹, David Nathanlius¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan Bandung E-mail:

halimlevin@unpar.ac.id

Abstrak—Perancangan sebuah turbin dibutuhkan untuk mengkonversi energi yang terdapat pada sumber tenaga air menjadi energi kinetik yang digunakan untuk memutar poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah turbin propeller yang sesuai dengan karakteristik dari Sungai Maliringan sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin propeller tersebut memiliki efisiensi yang maksimum. Daya yang dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh karakteristik dari sumber tenaga air, yaitu debit air dan ketinggian jatuh air (*head*). Penelitian ini akan membahas tentang hasil simulasi dengan menggunakan metode *Computational Dynamics Fluid (CFD)* yang dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh daya dan kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin. Turbin propeller ini dirancang berdasarkan karakteristik dari Sungai Maliringan dengan menggunakan software CAD SolidWork dan simulasi dilakukan dengan menggunakan software *COMSOL Multiphysics*.

Kata kunci: Turbin Propeller, CFD, Head, SolidWork, COMSOL Multiphysics.

Abstract—Design of turbine is necessary to convert energy from hydro power source to become kinetic energy which uses to spin the generator's shaft so it could generate electric power. Through this research will design a propeller turbine that suitable with characteristic of Maliringan river so then the generated power from propeller turbine will possess maximum efficiency. The power produced by the turbine is determined by the characteristic from hydro power source, which is the volumetric flow rate of the water and the head potential. This research will discuss about the result of the simulation that uses *Computational Dynamics Fluid (CFD)* method with purpose to obtain power and rotational speed produced by the turbines. This propeller turbine is designed based on Maliringan river's characteristic using SolidWork software and using *COMSOL Multiphysics* to do the simulation.

Keywords: Propeller turbine, CFD, Head, SolidWork, COMSOL Multiphysics

1. PENDAHULUAN

Salah satu dari energi terbarukan adalah energi yang berasal dari tenaga air/hidro. Energi air ini adalah satu diantara sekian banyak sumber energi terbarukan yang telah banyak dimanfaatkan untuk menggantikan energi fosil. Air yang memiliki sifat terus-menerus bergerak menghasilkan energi alami yang sangat besar. Energi ini datang baik air dari sungai yang mengalir atau gelombang air berupa ombak di lautan. Energi yang dihasilkan oleh air dapat dimanfaatkan dan dikonversikan menjadi listrik. Pemanfaatan energi terbarukan dari air ini dapat menghasilkan tenaga terus menerus selama 24 jam setiap harinya. Saat ini, 20% dari total energi dunia didapat dari pemanfaatan tenaga air atau yang sering disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Selain le-wat PLTA, energi air juga dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Mini Hidro (PLTMH). Beda keduanya ada pada besarnya listrik yang dihasilkan [1].

Sumber tenaga air/hidro memiliki potensi yang sangat besar dalam menghasilkan energi listrik namun dalam proses perubahan energi yang berasal dari sumber tenaga air menjadi energi kinetik pada turbin terdapat *loss* atau kerugian yang menyebabkan daya yang dihasilkan menjadi lebih kecil dibandingkan yang seharusnya. Oleh karena itu besarnya kerugian biasanya ditentukan berdasarkan data pengukuran dan pengalaman, eksperimen atau pendekatan empiris, dan besar kerugian ini dinyatakan dengan besaran efisiensi [2]. Efisiensi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik yang terdapat pada sumber tenaga air yang di tinjau, antara lain debit air, ketinggian jatuh air, dan kecepatan aliran. Maka dari itu untuk setiap sumber tenaga air yang berbeda dibutuhkan juga turbin yang sesuai agar efisiensi yang didapat lebih besar [3].

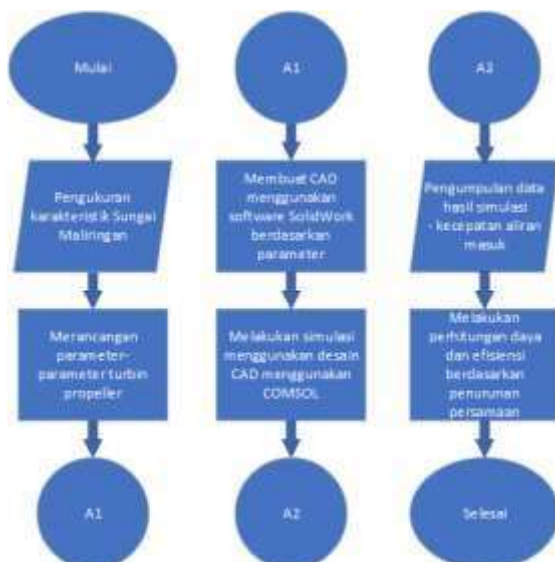
Penelitian ini akan berfokus pada proses transfer energi yang berasal dari sumber tenaga air yang dalam prosesnya tersebut

digunakan karakteristik sumber tenaga air yang berasal dari Sungai Maliringan dan untuk skala penelitian ini ketinggian *head* yang akan digunakan adalah setinggi 3 meter. Sebuah turbin *propeller* akan dirancang untuk digunakan sebagai mesin yang mengubah energi potensial yang terdapat pada sumber tenaga air menjadi energi kinetik yang dihasilkan oleh putaran turbin berdasarkan karakteristik Sungai Maliringan. Perancangan dari turbin *propeller* akan menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)* SolidWork dan akan disimulasikan dengan menggunakan *software COMSOL Multipysics*.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan data yang didapat dari hasil pengukuran yang data

tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan dari turbin *propeller* ini. Diagram alur dalam proses perancangan hingga simulasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membandingkan besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh turbin hasil rancangan. Daya pada turbin terdapat 2 jenis, yaitu daya ideal yang merupakan daya yang dihasilkan oleh turbin pada kondisi ideal dimana pada daya ideal hanya memperhitungkan potensi energi yang mampu dihasilkan oleh sumber tenaga air dan daya aktual adalah daya yang memperhitungkan kerugian yang terjadi pada saat proses perubahan energi [4]. Perbandingan antara daya aktual dan daya ideal memberikan efisiensi dari turbin tersebut, dimana efisiensi dari turbin

didefinisikan pada persamaan 1.

$$\eta = \frac{P_{aktual}}{P_{ideal}} \quad (1)$$

penurunan persamaan untuk daya aktual dan daya ideal yang dihasilkan oleh turbin adalah sebagai berikut:

2.1 Penurunan Daya Ideal

Daya ideal dari turbin bisa didapatkan dengan menganalisis laju perubahan nilai energi yang terdapat dari sumber tenaga airnya, yaitu:

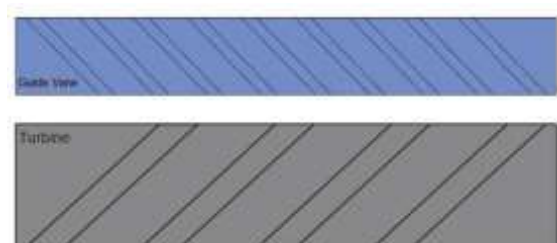
$$P_{ideal} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

dengan mensubstitusi $Q = A \cdot v$ dan $H = \frac{v^2}{2g}$, maka:

$$P_{ideal} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3)$$

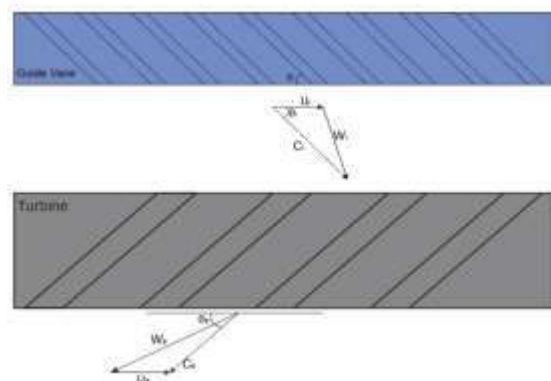
2.1 Penurunan Daya Aktual

Daya aktual turbin didapatkan dengan menganalisa segitiga kecepatannya, untuk menganalisa segitiga kecepatannya diperlukan ilustrasi turbin dan *gate* pengarahnya dipotong secara vertikal dan direntangkan pada bidang datar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi potongan turbin dan gate pengarah

Pada gambar 3 ditunjukkan skema dari segitiga kecepatan yang terdapat pada turbin.



Gambar 3. Segitiga kecepatan

dimana \vec{v} adalah kecepatan absolut, \vec{v}_t adalah kecepatan tangensial, dan \vec{v}_r adalah kecepatan relatif. Untuk subskrip menyatakan kecepatan segitiga pada saat air masuk dan untuk subskrip menyatakan kecepatan segitiga pada saat air keluar. Berdasarkan gambar 3, vektor-vektor akan tersebut memenuhi persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}_t + \vec{v}_r \quad (1) \\ \vec{v}_t &= \vec{v}_t + \vec{v}_r \quad (2) \\ \vec{v}_r &= \vec{v}_r \quad (3) \\ &= \vec{v}_r \quad (4) \end{aligned}$$

Turbin dapat berputar dikarenakan adanya gaya yang bekerja pada sudu. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir menuju sudu [5]. Berikut merupakan penurunan persamaan dari momentum yang terjadi pada sudu turbin.

$$(1)$$

momentum tersebut dianalisis untuk setiap waktunya agar dapat diketahui laju perubahan nilai dari momentum tersebut.

$$\frac{d}{dt} (1)$$

dimana \dot{p} adalah perubahan nilai dari momentum dan memiliki dimensi yang sama dengan dimensi gaya. Sehingga laju perubahan pada fluida adalah sebagai berikut:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (1)$$

Seperti pada gambar 3, bahwa terdapat fluida yang masuk dan fluida yang keluar sehingga terjadi perubahan momentum (\vec{p}) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2 \quad (1)$$

lalu berdasarkan hukum newton yang kedua diamana \vec{F} , maka nilai \vec{F} dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\vec{F} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2 \quad (1)$$

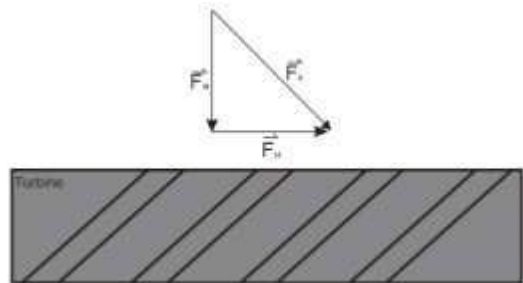
dan perbedaan momentum dianalisis untuk setiap waktunya menghasilkan:

$$\vec{F} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2 \quad (1)$$

sehingga gaya yang bekerja pada turbin (\vec{F}) didefinisikan sebagai berikut:

$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_a \quad (1)$$

Gaya dapat direpresentasikan menjadi 2 gaya, yaitu gaya aksial (\vec{F}_a) dan gaya tangensial (\vec{F}_t) yang ditunjukkan pada gambar 4.

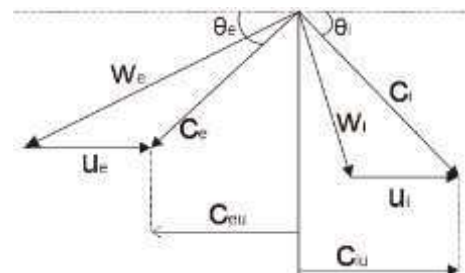


Gambar 4. Gaya yang bekerja pada turbin

Gaya \vec{F}_t merupakan gaya yang menyebabkan roda turbin berputar dan menghasilkan daya dan \vec{F}_a merupakan gaya yang harus dibuat sekecil-kecilnya karena menghambat putaran turbin sedangkan untuk gaya \vec{F}_t yang membuat turbin berputar sehingga harus dibuat sebesar-besarnya [6]. \vec{F}_t didefinisikan sebagai berikut:

$$\vec{F}_t = \vec{F} \sin \theta \quad (1)$$

Dimana $\sin \theta$ dan $\cos \theta$ didapatkan dengan memproyeksikan vektor \vec{F} dan \vec{F}_t ke vektor \vec{F}_t . Gambar 5 merupakan ilustrasi dari vektor-vektor pada segitiga kecepatan.



Gambar 5. Proyeksi Vektor Segitiga Kecepatan

sehingga persamaan gaya menjadi:

$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_a \quad (1)$$

Untuk akhirnya mendapatkan daya aktual diperlukan hubungan antara torsi dan gaya tangensial yang memenuhi persamaan berikut:

$$(1)$$

Dimana ada torsi dan adalah kecepatan sudut. Torsi merupakan hubungan antara gaya tangensial dan jari-jari turbin, dimana:

$$T = r \times F_t$$

Sehingga persamaan untuk daya aktual menjadi:

$$P_{aktual} = T \times \omega$$

Berdasarkan persamaan 4, maka:

$$P_{aktual} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

sehingga daya aktual yang diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan 20 ke persamaan 19 adalah:

$$P_{aktual} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain turbin *propeler* yang akan disimulasikan akan dirancang berdasarkan karakteristik dari Sungai Maliringan. Karakteristik yang ditunjukkan pada tabel merupakan data yang diambil dari pengukuran sungai yang dilakukan oleh tim dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) pada tahun 2018 lalu disitasi dalam penelitian ini. Karakteristik yang terdapat pada tabel 1 adalah debit terkecil, kecepatan aliran terkecil dan ketinggian jatuh air yang disesuaikan dengan skala penelitian pada penelitian ini.

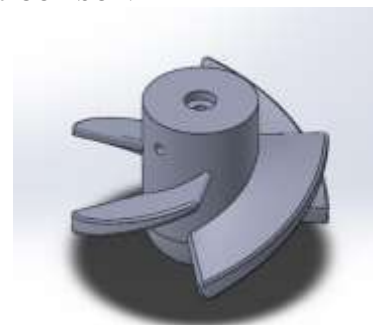
Tabel 1. Tabel Potensi Sungai

Potensi Sungai		
Debit	0.26	
Kecepatan Aliran	0.55	
Head	3	
Massa Jenis	997	

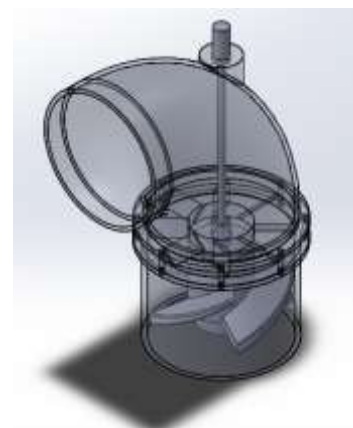
Data yang didapat pada tabel 1 digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan turbin dan untuk menentukan daya yang dihasilkan oleh turbin *propeller* tersebut.

Perancangan dilakukan dengan mengasumsikan bahwa generator yang akan digunakan sebagai pembangkit listrik adalah generator yang memiliki frekuensi dan jumlah *poles* yang dimiliki sebanyak 6 buah, sehingga kecepatan putar minimum untuk generator dapat menghasilkan energi listrik adalah 1000 RPM.

Gambar 6 dan 7 merupakan rancangan turbin *propeller* berdasarkan karakteristik tenaga air pada Sungai Maliringan yang terdapat pada tabel 1 dan akan digunakan untuk disimulasikan pada *software* COMSOL.



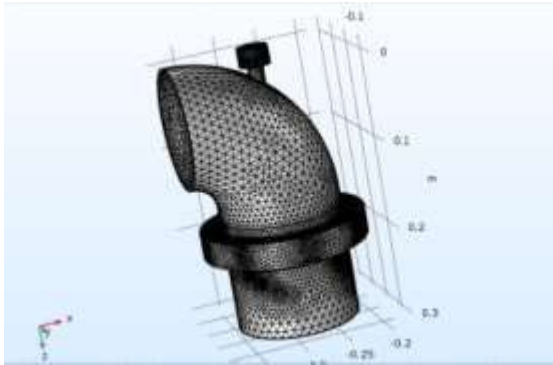
Gambar 6. Desain CAD turbin *propeller*



Gambar 7. Design Turbin *Propeler* Untuk Simulasi COMSOL

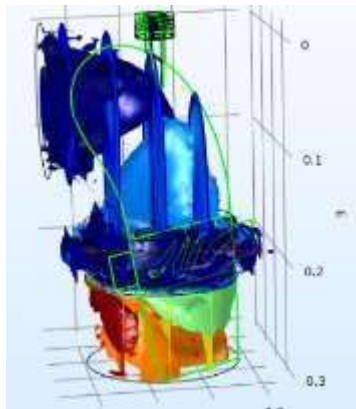
Pada simulasi yang dilakukan perancangan dari turbin *propeller* perlu dilakukan *meshing*, yaitu pembagian daerah geometri dari permukaan turbin menjadi beberapa subdivisi atau bentuk geometri sederhana seperti

segitiga, quadrilateral, hexagon atau tetrahedron [4]. Gambar 8 merupakan proses *meshing* dengan membagi seluruh permukaan turbin menjadi bentuk tetrahedron. Hal ini dilakukan agar variasi dari kuantitas yang akan dicari dapat dihitung berdasarkan persamaan fungsi sederhana yang terdapat pada COMSOL Multiphysics sehingga setiap elemen pada permukaan turbin perlu dilakukan *meshing* [4].



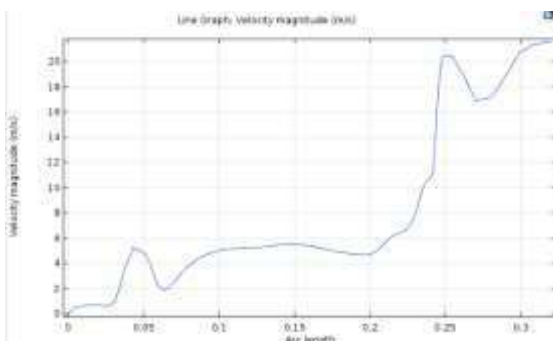
Gambar 8. Proses *meshing*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan karakteristik sumber tenaga air seperti pada tabel 1 dan pada gambar 9 ditunjukkan simulasi aliran fluida yang terjadi di dalam turbin.



Gambar 9. Simulasi Aliran Fluida Di Dalam Turbin

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, didapatkan grafik yang menunjukkan kecepatan aliran untuk setiap posisi di dalam turbin yang ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Kecepatan aliran fluida untuk setiap posisinya didalam turbin.

Berdasarkan data yang terdapat pada tabel 1 dan persamaan 2, maka dayai deal yang dihasilkan oleh turbin adalah sebesar

dan daya aktual yang dihasilkan oleh turbin berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar . Sehingga turbin *propeller* yang dirancang berdasarkan karakteristik Sungai Maliringan ini memiliki efisiensi daya yg dihasilkan berdasarkan persamaan 1 adalah sebesar .

4. KESIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Turbin yang sesuai untuk digunakan pada sumber tenaga air yang terdapat pada Sungai Maliringan adalah turbin *propeller* dipilih sebagai turbin yang sesuai dengan karakteristik dari Sungai Maliringan dan sesuai dengan skala pada penelitian ini.
2. Rancangan turbin yang sesuai dengan karakteristik Sungai Maliringan adalah sebagai berikut:
 1. Diameter luar ()
 2. Diameter dalam ()
 3. Jumlah sudu (z) = 4 buah
 4. Jarak antar sudu ()
 5. Panjang sisi miring sudu ()
 6. Ketinggian sudu ()
3. Efisiensi daya yang dihasilkan oleh turbin *propeller* ini sebesar yang berarti efisiensi dari rancangan turbin *propeller* ini masih relatif cukup tinggi.
4. Turbin *propeller* memiliki efisiensi yang relatif tinggi untuk sumber tenaga air yang memiliki karakteristik dengan *head* rendah tetapi debit yang relatif besar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] 11 Januari 2019. [Online]. Available: https://www.dbs.com/spark/index/id_id/site/pillars/2019-sumber-energi-terbarukan-ini-tersedia-melimpah-di-indonesia-bukan-cuma-sinar-matahari.html. [Accessed 12 Mei 2019].

[2] W. Paryatmo, Turbin Air, Edisi Kedua ed., Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu, 2007.

[3] A. Wiranto, Penggerak mula turbin, Bandung: ITB, 2004.

[4] T. Mehrzad, COMSOL5 for Engineers, Stylus Publishing, LLC, 2015.

[5] D. S. Fritz Dietzel, Turbin, pompa dan kompresor, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1988.

[6] S. Himran, Perancangan, Turbin Air-Teori & Dasar, Yogyakarta: ANDI, 2017.

- [7] M. Klaus, *Hydraulische und thermische Kraft-und Arbeitsmaschinen*, Springer, 2006.
- [8] M. C. Pieter de Vries, "Buku Panduan Energi yang Terbaru," *Kementerian Dalam Negeri* . , vol. I, 2011.