

# UJI UNJUK KERJA BLOWER SEBAGAI TURBIN AIR MENGUNAKAN CFD

Ryan Rizky Liansyah

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY)

Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.

Email: [liansyah.r.r@gmail.com](mailto:liansyah.r.r@gmail.com)

## ABSTRACT

Indonesia has many mountains and hills in special location. There are rivers and lakes can be used as energy resource. The energy utilization in Indonesia is dominated by energy derived from fossil. In other hand, water energy potential can be developed as renewable energy resource to generate electricity by using water turbine. Due to the high price of water turbine, it can be substitute by modification of centrifugal blower as water turbine. For this reason, blower as water turbine is needed to be investigated further more using numerical study such as CFD ANSYS Fluent

Simulation using CFD (Computational Fluid Dynamics) method with ANSYS Fluent 16.0 software is divided by three parts, namely Preprocessing, Processing and Post-processing. This simulation used four variations of opening valve, such as fully open valve,  $\frac{3}{4}$  open valve,  $\frac{1}{2}$  open valve and  $\frac{1}{3}$  open valve which each opening valve variation has five variation of rotational speed.

The results and processing data showed that the opening valves and rotational speeds effect to centrifugal blower as water turbine. The bigger opening valve, the higher power is generated until it reached peak point. The highest of centrifugal blower as turbine was produced by fully opening valve and rotational speed of 370 rpm, namely 33,77 watt of power and 0,87 N.m of torque. The optimum power had 4,84 kg/s mass flow rate and it efficiency reached 23,69 %.

**Keyword:** *CFD, Centrifugal Blower, Water Turbine, Torque, Mass Flow Rate, Turbin Power, efficiency, ANSYS Fluent*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki pegunungan dan bukit yang cukup banyak bahkan di daerah tertentu memiliki sungai dan danau yang cukup potensial sebagai sumber energi air. Penggunaan energi di

Indonesia masih didominasi oleh energi yang berasal dari fosil. Sementara potensi air yang mampu dikembangkan sebagai energi cukup besar. Energi air kapasitas besar memiliki potensi 75,67 GW sementara yang sudah dimanfaatkan sebesar 4,2 GW atau hanya 5,55%. Energi air dengan kapasitas kecil

mempunyai potensi sekitar 458,75 MW, sementara yang sudah dimanfaatkan sekitar 86 MW atau hanya 17,22% (Ambarita, 2011). Kondisi alam Indonesia yang memiliki banyak gunung dan bukit yang dialiri oleh sungai-sungai besar maupun kecil. Di beberapa daerah tertentu di Indonesia terdapat danau atau waduk yang memiliki potensial sebagai sumber energi air.

Air dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik dengan cara memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia, misalnya potensi air terjun dan potensi aliran air. Hal ini yang menyebabkan Indonesia memiliki potensi cukup besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Turbin air merupakan salah satu mesin konversi energi yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik dan dapat dikonversikan kembali menjadi energi listrik dengan menggunakan alat yaitu generator. Namun, dalam pembuatan turbin membutuhkan biaya yang besar dalam skala piko dan cukup rumit. Oleh karena itu, perlu memanfaatkan teknologi lain yang lebih praktis dan murah yang dapat diterapkan masyarakat untuk mengolah potensi energi air seperti penggunaan blower sebagai turbin air. Metode yang digunakan untuk mengubah fungsi blower sentrifugal menjadi turbin air

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja blower sebagai turbin air dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent*. Melalui penelitian secara numerik ini diharapkan mampu menganalisis lebih dalam terkait dengan pola aliran yang terjadi

pada turbin dan lebih lanjut dapat memberikan saran untuk meningkatkan efisiensi blower sebagai turbin. Hasil dari simulasi ini juga akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Pratama (2016) guna memvalidasi data yang dihasilkan dari simulasi numerik.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tugas akhir Pratama (2016) dengan judul Kajian Eksperimental Kinerja Blower Angin Sentrifugal Yang Digunakan Sebagai Turbin Air.

### 2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebuah laptop dengan menggunakan software SolidWorks 2015 dan Ansys Fluent 16.0.

### 2.3 Proses Simulasi

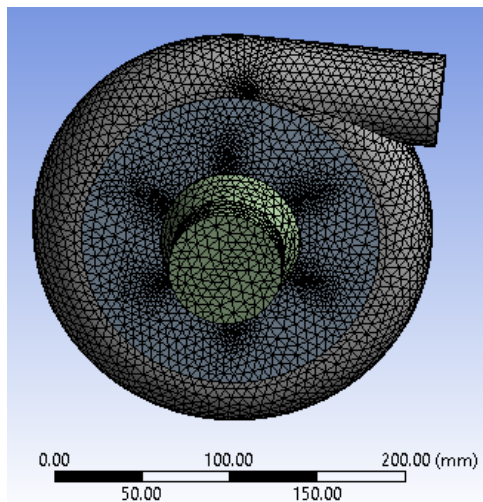
Proses CFD pada dasarnya dibagi menjadi 3 yaitu *Pre-Processing*, *Processing*, dan *Post-Processing*.

#### a. *Pre-Processing*

*Pre-Processing* adalah tahap pertama yang perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi CFD seperti:

1. Membuat *geometry* menggunakan Solidworks 2015 kemudian di *Import* kedalam Ansys Fluent.
1. *Meshing* (membagi volume menjadi bagian-bagian kecil), semakin halus (semakin kecil) *mesh* maka hasil yang didapatkan akan semakin akurat sehingga membutuhkan proses komputasi yang lebih lama. Untuk mengetahui kualitas *mesh* baik atau buruk dapat dilihat nilai *Orthogonal Quality* jika

mendekati nilai 0 maka kualitas *mesh* buruk. Jika nilai *Ortho Skew* mendekati nilai 1 maka dapat disimpulkan kualitas *mesh* tersebut buruk. Dalam proses *meshing* ada beberapa tahapan yaitu memberikan penamaan pada bagian turbin yang akan diberi kondisi batas dan tahap yang kedua yaitu *sizing mesh*. Blower setelah *meshing* pada bagian *body* memiliki *element* sebanyak 467.648 dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Hasil *meshing*

#### b. *Processing*

*Processing* adalah tahap kedua dari proses CFD. Proses ini merupakan bagian terpenting karena hampir semua parameter penelitian diproses dalam tahapan ini,

1. pada bagian *general*, *solver* menggunakan *type pressure-based* kemudian untuk *velocity formulation* menggunakan *absolute* dan aliran dalam *system* ini bersifat *steady*.
2. *Models* diatur menggunakan *k-epsilon* dengan model *realizable* pada bagian *Near-Wall Treatment*

menggunakan *enhanced wall treatment*.

3. *Materials* yang digunakan *fluid* jenis *Water-liquid* dan untuk material *solid* pada simulasi diabaikan.
4. Pada *Cell zone conditions* pengujian ini dibagi menjadi 3 zone yaitu *Casing*, *Impeller\_zone* dan *Outlet\_zone* semua menggunakan material *water liquid*. Untuk bagian *Impeller\_zone* dipilih *frame motion* karena bagian ini yang berputar. Pada *frame motion* kecepatan putaran disesuaikan dengan pengujian yang akan dilakukan dan untuk *rotation axis origin* serta *rotation axis direction* disesuaikan dengan unit pengujian.
5. Pada *Boundary conditions* data yang dimasukkan adalah data *inlet*, *Impeller* dan *outlet*. Untuk data *pressure* pada *inlet*, *Type inlet* diubah menjadi *pressure inlet*. Setelah itu *specification method* diganti *Intensity and hydraulic diameter* untuk mengatur diameter *inlet* pada blower. Cara untuk mendapatkan nilai *pressure inlet* dengan menghitung *pressure drop mayor* dan *pressure drop minor* yang dialami fluida.

Tabel 1: Pressure Inlet pada setiap variasi kecepatan putar turbin.

Variasi katup	kecepatan putar	Pressure In (Pa)
1/3	285	5627.01
	215	5374.33
	140	4859.63
	70	3804.51
	0	2450.54
1/2	535	17346.35
	435	13088.58
	275	8120.21
	135	7498.70
	0	7249.02
3/4	680	22944.04
	535	20030.63
	350	16386.08
	175	14523.08
	0	14854.10
Penuh	700	24554.86
	570	22543.66
	370	19893.09
	185	19159.67
	0	18731.50

Data *outlet* bagian *specification method* diganti *Intensity and hydraulic diameter* untuk mengatur diameter *outlet* pada blower. Untuk *Impeller* di *Boundary Conditions* pada bagian *wall motion* diganti *moving wall*. Karena bagian ini adalah bagian dinding yang berputar dengan mengisi *rotation axis origin* dan *rotation axis direction* disesuaikan dengan unit pengujian.

6. *Solution Methods* menggunakan skema *SIMPLE*
7. Pada bagian *control* yang di atur hanya bagian *Under-Relaxation* jika simulasi tidak *converged* hingga batas iterasi yang telah di tentukan, Dapat diatur nilai pada bagian *Turbulent Kinetic Energy*, *Turbulent Dissipation Rate* dan *Turbulent Viscosity* jika *k-epsilon* yang tidak bisa *converged*, sedangkan untuk *Pressure*,

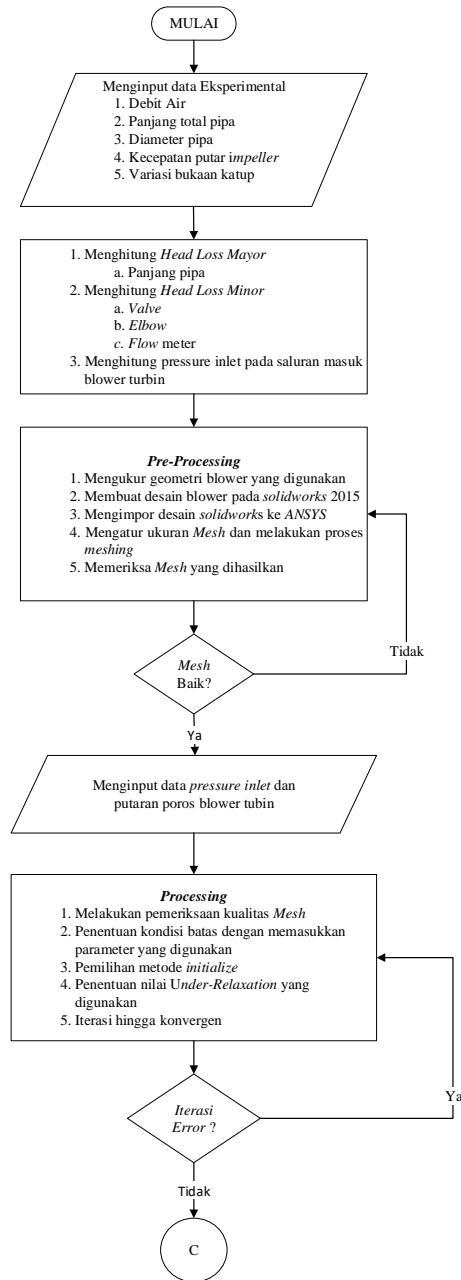
*Density*, *Body Forces* dan *Momentum* diturunkan jika *continuity* tidak bisa *converged*

8. *Solution Initialization* yang digunakan adalah *standard initialization* dan bagian *compute from* menggunakan *inlet* setelah itu langsung *diinitialize*
9. *Run Calculation* merupakan proses iterasi. *Number of iterations* adalah batasan iterasi yang tentukan, Pada simulasi ini *Number of iterations* yang digunakan sampai 2000 untuk mencapai *converged*.

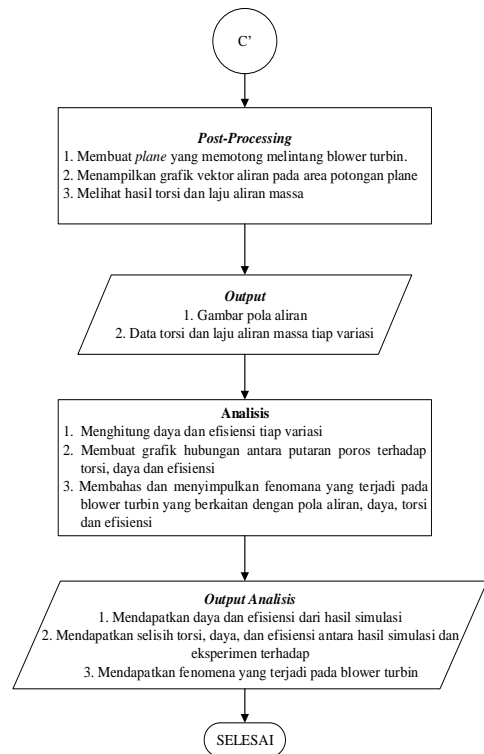
c. *Post-Processing*

Setelah melakukan proses kalkulasi selanjutnya melihat hasil kalkulasi tersebut. Pada penelitian ini hasil yang dibutuhkan adalah *vectors* kondisi batas yang terbentuk dalam sistem akibat dari variasi *pressure-in*, kecepatan putar *impeller* dan variasi sudu. Pada tahapan *Post-Processing* dapat dilakukan pemeriksaan terhadap bagian *plane*, torsi dan laju aliran massa yang dihasilkan turbin pada simulasi. Untuk memeriksa torsi yang dihasilkan, pilih *report* kemudian masuk ke *force* lalu pilih *moment* selanjutnya untuk *rotation axis origin* serta *rotation axis diection* disesuaikan dengan unit pengujian. Kemudian untuk laju aliran massa, pilih *report* masuk ke *flux* kemudian pilih *inlet* dan *outlet*.

## 2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2: Diagram Alir



Gambar 2: Diagram Alir (Lanjutan)

## 2.5 Parameter Yang Digunakan

1. Pressure in (Didapat dari hasil perhitungan  $((Head Loss\ major + Head Loss\ minor) - Head\ Max) \times Densitas\ air \times Gravitasi$ ).
2. Diameter inlet (Diameter inlet pada turbin).
3. Water liquid (Didapat dari ANSYS 16.0).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Simulasi dan Perhitungan

Berdasarkan data yang diperoleh melalui simulasi maka perhitungan dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Daya Turbin ( $P_t$ )

Daya turbin diperoleh dari poros turbin, dengan menggunakan (rumus 2.7):

$$P_t = 2 \times \pi \times n \times T$$

Diketahui:

Kecepatan putar turbin ( $n$ ) = 0 rps

Torsi ( $T$ ) = 0,16 Nm  
(hasil simulasi)

$$P_t = 2 \times 3,14 \times 0 \text{ rps} \times 0,16 \text{ N.m}$$

$$P_t = 0 \text{ Watt}$$

Jadi daya turbin yang dihasilkan sebesar 0 Watt

## 2. Daya Hidrolik ( $P_{ht}$ )

Dari data yang diperoleh melalui simulasi maka perhitungan dapat dilakukan menggunakan (rumus 2.6):

$$P_{ht} = \dot{m} \times g \times h$$

Diketahui:

Laju Aliran Massa ( $\dot{m}$ ) = 2,31 kg/s

Gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Tinggi jatuh air = 3 m

$$P_{ht} = 2,31 \text{ kg/s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m}$$

$$P_{ht} = 68,18 \text{ Watt}$$

Daya air yang di hasilkan sebesar 68,18 Watt.

## 3. Efisiensi ( $\eta_t$ )

Dari data yang diperoleh melalui simulasi maka perhitungan dapat dilakukan menggunakan (rumus 2.8):

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{ht}} \times 100\%$$

Diketahui;

Daya Turbin ( $P_t$ ) = 0 Watt

Daya Air ( $P_{ht}$ ) = 68,18 Watt

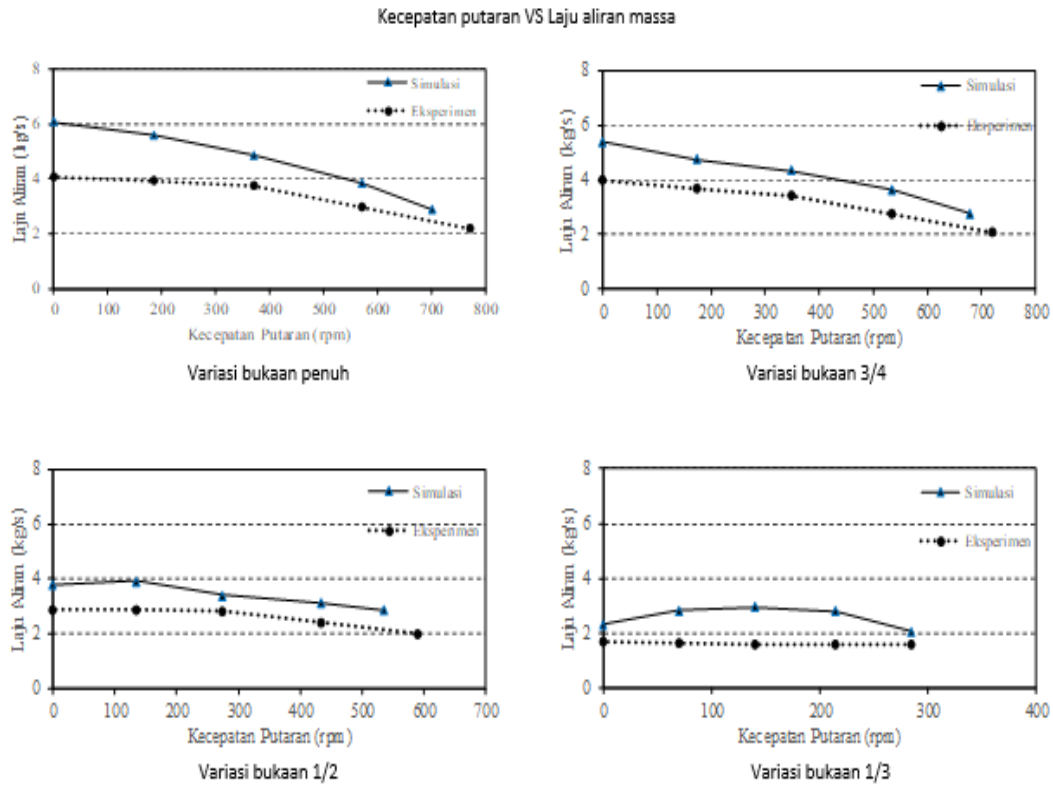
$$\eta_t = \frac{0 \text{ watt}}{68,18 \text{ watt}} \times 100\% = 0\%$$

Jadi, Efisiensi yang dihasilkan sebesar 0 %.

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh serta perhitungan yang telah dilakukan dapat dibuat beberapa grafik yang terdiri atas 2 tipikal yaitu dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya oleh Pratama (2016). Besar bukaan katup dan kecepatan putar *Impeller* akan mempengaruhi torsi, laju aliran massa, daya turbin, dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin tersebut. Pada tipikal 1 merupakan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *Ansys Fluent* diperlihatkan pada *marker* ( $\Delta$ ). Pada tipikal 2 merupakan hasil eksperimen diperlihatkan pada *marker* (O). Pada simulasi dan eksperimen ini menggunakan 4 variasi bukaan katup yaitu katup bukaan penuh, katup katup bukaan  $\frac{3}{4}$ , katup bukaan  $\frac{1}{2}$  dan katup bukaan  $\frac{1}{3}$ . Masing-masing katup memiliki 5 variasi kecepatan putar.

#### 4.2.1 Hubungan kecepatan putar dengan laju aliran massa



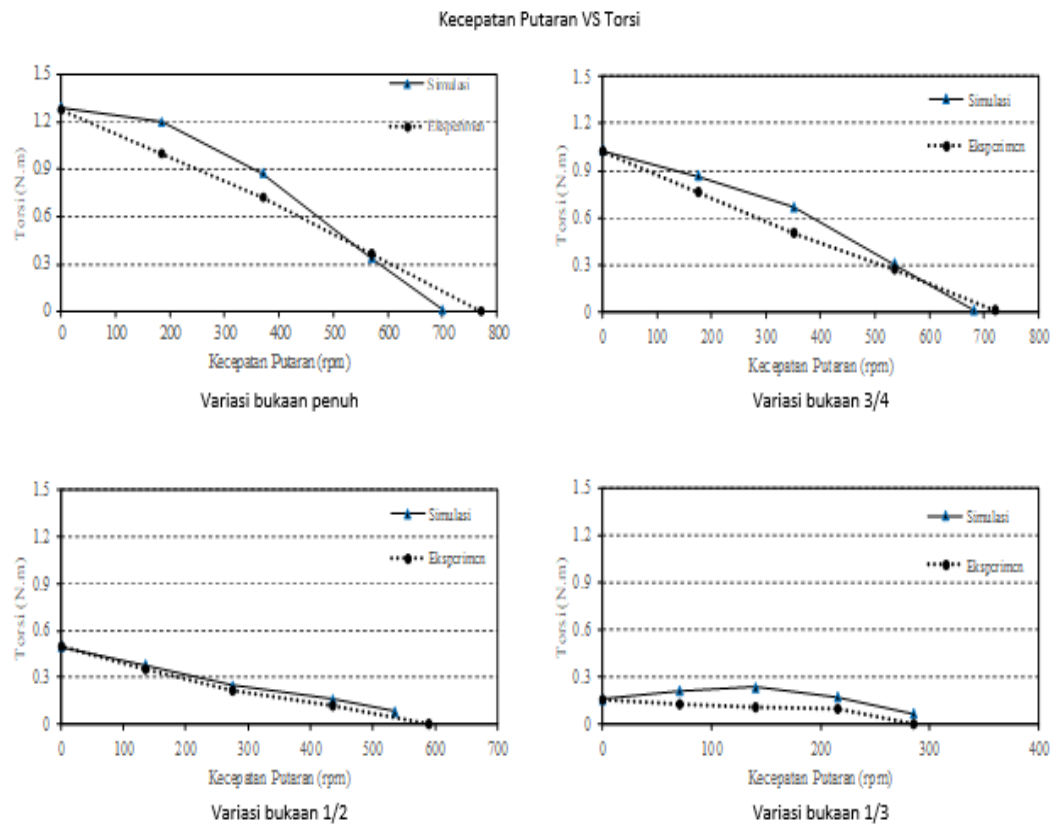
Gambar 3: Pengaruh kecepatan putar terhadap laju aliran massa

Pada gambar 3 hubungan kecepatan putar dengan laju aliran massa memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan putar pada turbin maka laju aliran massa akan semakin kecil. Pada katup bukaan  $\frac{1}{3}$  terjadi peningkatan laju aliran massa pada kecepatan impeller 70 dan 140 rpm hal ini disebabkan karena air terhambat oleh *impeller*, Semakin cepat putaran *impeller* maka aliran massa ikut meningkat, namun pada kecepatan 215 rpm dan 285 rpm terjadi penurunan laju aliran massa dikarenakan putaran *impeller*

semakin meningkat menyebabkan air didalam turbin susah masuk dalam celah *impeller*.

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin besar variasi bukaan katup maka semakin tinggi nilai laju aliran massa yang dihasilkan. Laju aliran massa tertinggi di hasilkan pada variasi katup bukaan penuh dengan kecepatan putar 0 rpm sebesar 6,06 kg/s sedangkan nilai laju aliran massa terendah dihasilkan pada variasi katup bukaan  $\frac{1}{3}$  dengan kecepatan 285 rpm sebesar 2,05 kg/s.

## 4.2.2 Hubungan kecepatan putar dengan torsi



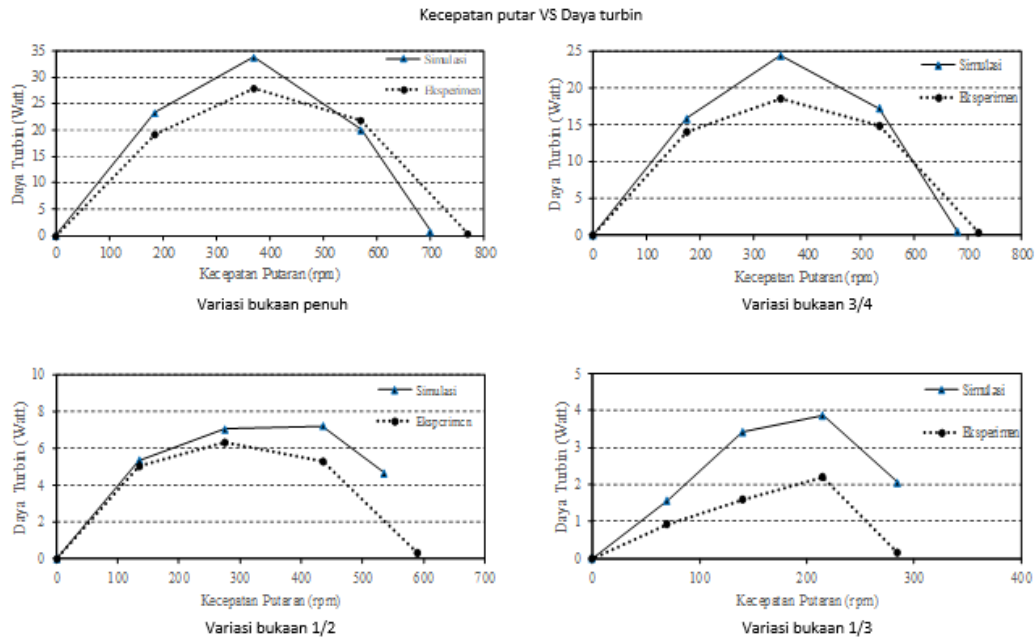
Gambar 4: Pengaruh kecepatan putar terhadap torsi

Dapat diketahui dari gambar 4 bahwa kecepatan turbin dan variasi bukaan katup mempengaruhi torsi yang dihasilkan. Pola grafik torsi terlihat menyerupai grafik laju aliran massa dimana semakin besar putaran turbin maka torsi yang dihasilkan semakin kecil, namun pada saat kecepatan putar turbin meningkat dan torsi juga meningkat di sebabkan

pengaruh hubungan antara laju aliran massa terhadap torsi. Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4 torsi tertinggi di hasilkan pada variasi katup bukaan penuh dengan kecepatan putar 0 rpm sebesar 1,28 N.m sedangkan nilai torsi terendah dihasilkan pada variasi katup bukaan  $1/2$  dengan kecepatan 680 rpm sebesar 0,007 N.m.



### 4.2.3 Hubungan kecepatan putar dengan daya

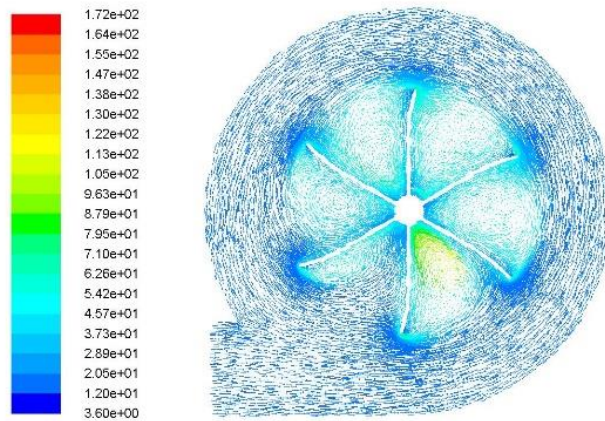


Gambar 5: Pengaruh kecepatan putar terhadap daya

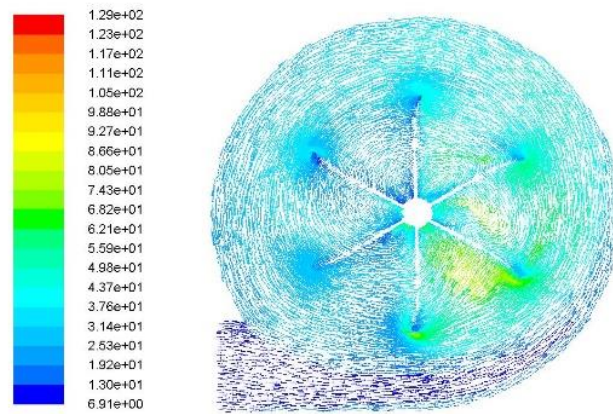
Gambar 5 menunjukkan hubungan kecepatan putar dengan daya turbin yang dihasilkan dari 5 variasi katup dan dari berbagai variasi kecepatan putaran. Terlihat bahwa dengan semakin besarnya putaran poros blower, daya yang dihasilkan semakin tinggi hingga mencapai titik optimum dan kemudian daya tersebut turun dengan semakin besarnya putaran poros. Pada kecepatan putaran poros 0 rpm, daya yang dihasilkan rendah karena daya berbanding lurus terhadap torsi dan putaran poros sehingga jika putaran poros 0 rpm maka daya yang dihasilkan juga 0 watt.

Pada kecepatan 700 rpm, daya juga mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini terjadi karena area turbulensi dan intensitas turbulensi

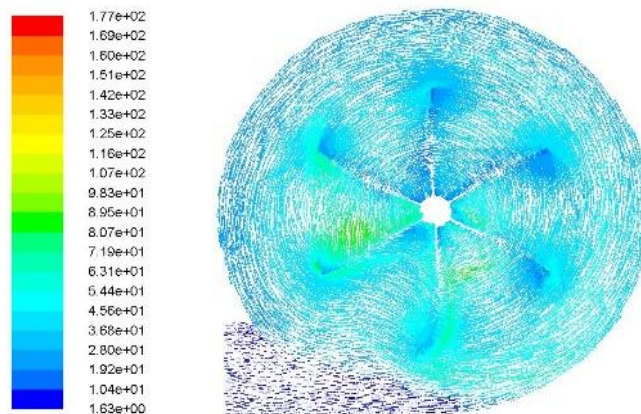
yang terjadi pada daerah *impeller* sangat besar seperti terlihat pada gambar 6 sehingga menyebabkan daya yang dihasilkan rendah. Berbeda dengan pola aliran yang terjadi pada kecepatan putar 370 rpm di mana area turbulensi dan intensitas turbulensinya rendah. Turbulensi yang besar mengakibatkan aliran air yang menumbuk *impeller* mengalir dengan tingkat ketidakteraturan yang besar. Hal ini yang menyebabkan energi aliran dari air tidak terkonversi secara baik menjadi energi mekanik putaran poros yang akibatnya daya yang dihasilkan rendah. Sebaliknya, dengan turbulensi yang rendah maka energi aliran air dapat terkonversi menjadi energi mekanik dengan baik sehingga daya yang dihasilkan besar.



(a) Katup bukaan penuh 0 rpm



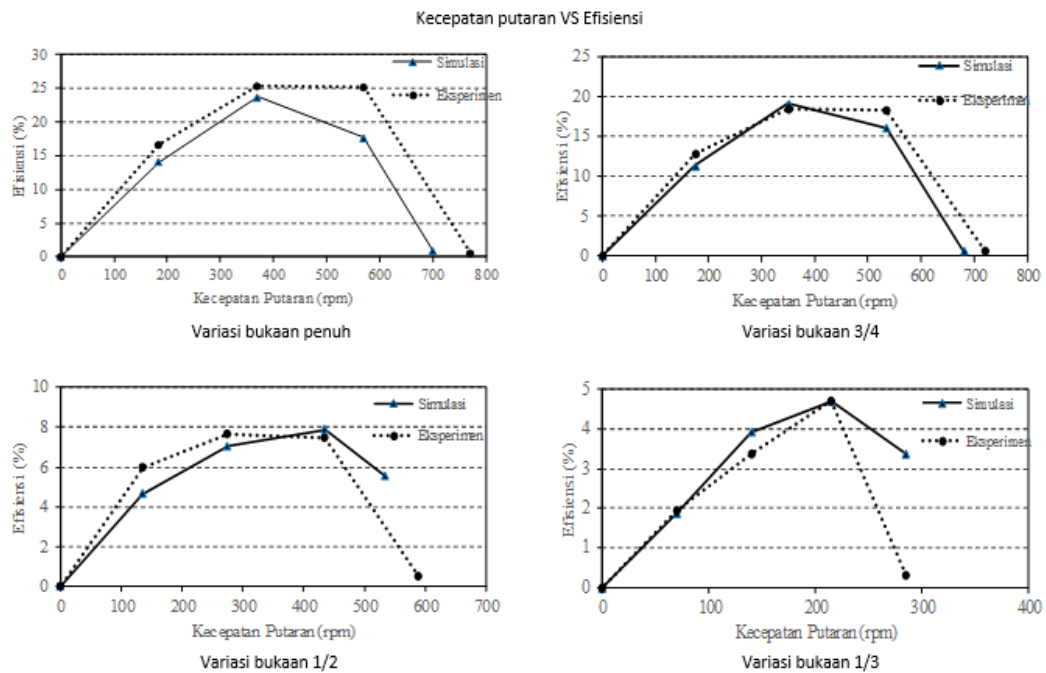
(b) Katup bukaan penuh 370 rpm



(c) Katup bukaan penuh 700 rpm

Gambar 6: Intensitas turbulensi dan pola aliran pada turbin blower

#### 4.2.4 Hubungan kecepatan putar dengan efisiensi



Gambar 7: Pengaruh kecepatan putar terhadap efisiensi

Pada gambar 7 memperlihatkan hubungan kecepatan putar dan variasi katup terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan. Pola grafik efisiensi terlihat menyerupai grafik daya dimana semakin besar putaran poros efisiensi meningkat hingga mencapai nilai optimum dan kemudian turun dengan semakin besarnya putaran poros. Efisiensi merupakan rasio antara energi mekanik yang dihasilkan blower turbin dengan energi yang digunakan untuk menggerakkan blower turbin. Sehingga efisiensi berbanding lurus terhadap daya mekanik yang dihasilkan blower turbin. Dengan semakin besar daya mekanik maka semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan blower turbin.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

- a) Hasil simulasi dan pengolahan data menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran poros turbin maka torsi yang dihasilkan semakin kecil. Torsi tertinggi dihasilkan sebesar 1,29 N.m pada kecepatan 0 rpm variasi bukaan katup penuh sedangkan torsi terendah dihasilkan sebesar 0,007 N.m pada kecepatan 680 variasi katup  $\frac{3}{4}$ . Selisih torsi tertinggi antara hasil simulasi dan eksperimen yang telah dilakukan sebesar 94 % pada kecepatan 535 bukaan katup  $\frac{1}{2}$  sedangkan terendah sebesar 0,1 % pada kecepatan 0 bukan katup  $\frac{1}{2}$ .

- b) Hasil simulasi dan pengolahan data menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran poros turbin maka laju aliran massa yang dihasilkan semakin kecil. Laju aliran massa tertinggi dihasilkan sebesar 6,06 kg/s pada kecepatan 0 rpm variasi bukaan katup penuh sedangkan laju aliran massa terendah dihasilkan sebesar 2,05 kg/s pada kecepatan 285 variasi katup  $\frac{1}{3}$ . Selisih laju aliran massa tertinggi antara hasil simulasi dan eksperimen yang telah dilakukan sebesar 46,1 % pada kecepatan 140 bukaan katup  $\frac{1}{3}$  sedangkan terendah sebesar 17,5 % pada kecepatan 275 bukaan katup  $\frac{1}{2}$ .
- c) Hasil simulasi dan pengolahan data menunjukkan bahwa semakin besar putaran poros blower, daya yang dihasilkan semakin tinggi hingga mencapai titik optimum dan kemudian daya tersebut turun dengan semakin tingginya putaran poros. Daya turbin tertinggi dihasilkan sebesar 33,77 watt pada kecepatan 370 rpm variasi bukaan katup penuh. Selisih daya tertinggi antara hasil simulasi dan eksperimen yang telah dilakukan sebesar 93,4 % pada kecepatan 535 bukaan katup  $\frac{1}{2}$ .
- d) Hasil simulasi dan pengolahan data menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran poros efisiensi meningkat hingga mencapai nilai optimum dan kemudian turun dengan semakin tingginya putaran poros karena efisiensi berbanding lurus dengan daya turbin. Efisiensi tertinggi dihasilkan sebesar 23,69 % pada kecepatan 370 rpm variasi bukaan katup penuh. Selisih efisiensi tertinggi antara hasil simulasi dan eksperimen yang

telah dilakukan sebesar 90,5 % pada kecepatan 535 bukaan katup  $\frac{1}{2}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS *Fluent Tutorial Guide*. (2013). USA: ANSYS, Inc.
- ANSYS *Fluent User Guide*. (2013). USA: ANSYS, Inc.
- Djodikusumo, I., Santoso, L., & Haris, R. (2007). Pemanfaatan sistem *Cad/Cam/Cae* dalam *Reverse* dan *Forward Engineering* untuk Turbin Francis. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 22, No. 2, 1-12.
- Gusriwandi. (2015). Kajian CFD perbandingan kinerja tiga buah model *Runner* Turbin Francis. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Andalas*, Volume 21, No. 2, 77-84.
- Julianto, A., Kurniawan, I., & Osman, K. (2016). Kaji Komputasional Karakteristik Aliran Air Gambut pada *Impeller* dan *Volute* Pompa Sentrifugal. *Journal Faculty of Biosciences and Medical Engineering*, Volume 3, No.2, 1-9.
- Kinsey, A. (t.thn.). *Energy Losses Through Venturi, Orifice, and Rotameter Flowmeters*. Dipetik desember 26, 2017, dari [https://ashleyekinsey.weebly.com/uploads/3/8/5/1/38513723/flow\\_meter\\_report.pdf](https://ashleyekinsey.weebly.com/uploads/3/8/5/1/38513723/flow_meter_report.pdf)
- Mufariz, M. F., & Russbandrio, W. (2015). Studi Gaya *Drag* dan *Lift* pada *Blade Profile* NACA 0018 Turbin Arus Laut Sumbu Vertikal. *Jurnal Mechanical Engineering*, 1-5.

- Pratama, A. Y. (2016). Kajian Eksperimental Kinerja Blower Angin Sentrifugal Yang Digunakan Sebagai Turbin Air. *Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, 1-12.
- Rafli, D., & Hazwi, M. (2014). Simulasi Numerik Penggunaan Pompa Sebagai Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Head 9,29 M dan 5,18 M Menggunakan Perangkat Lunak CFD pada Pipa Berdiameter 10,16 cm. *jurnal e-Dinamis, Volume 8, No.4*, 214 - 223.
- Sasongko, E. T., Muhajir, K., Badrawada, I. G. G., & Anton. (2007). Pengaruh Laju Aliran Massa terhadap Daya Turbin Air Francis pada sub unit PLTA Jelok Semarang. *Jurnal Teknologi AKPRIND*, Vol. 1, No. 1, 9-13.
- Sutikno, P., Suwono, A., & Hartono, F. (2013). Desain dan Simulasi Turbin Air Kontra-Rotasi Untuk Aplikasi Head Sangat Rendah. *Jurnal Mechanical Engineering*, 1 - 6.
- Syarief, A., & Isworo, H. (2015). Simulasi Turbin Air Kaplan pada PLTMH di Sungai Sampanahan Desa Magalau Hulu Kabupaten Kotabaru. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat*, 1-6.
- Trimulyono, A., & Arswendo, B. (2012) Perancangan turbin arus laut untuk daerah pesisir pantai tipe kobold dengan bilah hlift dan naca 0018 yang dimodifikasi dengan *computational fluid dynamic (CFD)*. Vol 9, No.3, 147-156.
- Tyas, E. C., Marsudi, S., & Andawayanti, U. (2014). Studi perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air di Bendungan Pandanduri Swangi Lombok Timur Nusa Tenggara Barat. *JURNAL TEKNIK UB*, 1-12