



TUGAS AKHIR - TF 181801

**SIMULASI DAN UJI EKSPERIMEN PENGARUH
GUIDE VANES DAN *RUNNER* TERHADAP
KINERJA TURBIN *OPEN FLUME* ALIRAN
*VORTEX***

Riky Permana
NRP. 0231 1745 000 035

Dosen Pembimbing :
Ir. Sarwono, MM
Erna Septyaningrum, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TF 181801

***SIMULATION AND EXPERIMENT THE
EFFECT OF GUIDE VANES AND RUNNERS ON
THE PERFORMANCE OF OPEN FLUME
TURBIN VORTEX***

Riky Permana
NRP. 0231 1745 000 035

Supervisors :
Ir. Sarwono, MM
Erna Septyaningrum, S.T., M.T

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ricky Permana
NRP : 02311745000035
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Simulasi dan Uji Eksperimen Pengaruh Guide Vanes dan Runner Terhadap Kinerja Turbin Open Flume Aliran Vortex” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Ricky Permana

NRP. 02311745000035

TUGAS AKHIR

SIMULASI DAN UJI EKSPERIMEN PENGARUH GUIDE VANES DAN RUNNER TERHADAP KINERJA TURBIN OPEN FLUME ALIRAN VORTEX

Oleh:

Riky Permana

NRP. 02311745000035

Surabaya, 23 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I



Ir. Sarwono, MM
NIP. 19580530 198303 1 002

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II



Erna Septyaningrum, S.T., M.T
NPP. 1992201912073

Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.

NIP. 19730902 200312 1 002

**SIMULASI DAN UJI EKSPERIMEN PENGARUH GUIDE
VANES DAN RUNNER TERHADAP KINERJA TURBI
OPEN FLUME ALIRAN VORTEX**


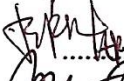


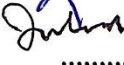
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIKY PERMANA
NRP. 02311745000035

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Sarwono, MM  (Pembimbing I)
2. Erna Septyaningrum, S.T., M.T.  (Pembimbing II)
3. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T  (Ketua Penguji)
4. Dr. Suyanto, S.T., M.T  (Penguji I)
5. Ir. Zulkifli, M.Sc  (Penguji II)

SURABAYA
Juli 2019

SIMULASI DAN UJI EKSPERIMEN PENGARUH GUIDE VANES DAN RUNNER TERHADAP KINERJA TURBIN OPEN FLUME ALIRAN VORTEX

Nama : Riky Permana
NRP : 02311745000035
Departemen : Teknik Fisika FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Sarwono, MM
Erna Septyaningrum S.T., M.T

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi turbin open flume. Pada bagian tangki turbin open *flume* dibuat penampang *spiral case* agar aliran yang mengalir ke tangki membentuk pusaran aliran yang kuat yang disebut aliran vortex. Dengan adanya aliran vortex yang terjadi pada turbin open flume kemudian akan dianalisa pengaruhnya terhadap kinerja turbin *open flume* yang ditinjau dari variasi sudut *guide vanes*, jumlah sudu, dan sudut sudu jalan menggunakan metode eksperimen dan simulasi. Berdasarkan hasil analisa pengaruh dari sudut *guide vane* yaitu semakin kecil sudut *guide vanes* memberikan pengaruh perubahan kecepatan aliran yang semakin besar. Kecepatan awal aliran air sebelum mengenai *guide vanes* yaitu 2.52 m/s dan dengan adanya perubahan sudut *guide vane* pada kemiringan sudut 25°, 35° dan 45° kecepatan pada sisi *outlet guide vanes* secara berurutan adalah 4.2 m/s, 3.78 m/s dan 3.36 m/s. Pengaruh dari kemiringan sudut sudu jalan yaitu semakin besar kemiringan sudut yang diatur akan memberikan putaran dan torsi yang semakin besar. Pada konfigurasi *guide vanes* 25°, dan jumlah sudu 5 nilai torsi yang diperoleh pada kemiringan 30°, 40°, dan 50° secara berurutan adalah 0.2387 Nm, 0.2698 Nm, dan 0.3205 Nm. Peningkatan jumlah sudu memiliki pengaruh keseluruhan yang sama dengan peningkatan luas sudu, karena kedua peningkatan ini menyebabkan semakin banyaknya aliran air yang mengenai sudu sehingga meningkatkan performansi dari turbin *open flume*. Pada konfigurasi *guide vanes* 25°, sudut kemiringan sudu jalan 50°,

diperoleh nilai torsi secara berurutan jumlah sudu 3, 4, dan 5 adalah 0.2044 Nm, 0.2534 Nm, dan 0.3205 Nm. Berdasarkan hasil eksperimen nilai C_p tertinggi sebesar 0,069 atau dalam bentuk efisiensi 6.9%. Nilai tersebut diperoleh pada konfigurasi *guide vane* 25°, jumlah sudu 5, dan kemiringan sudut sudu 50°

Kata Kunci : Aliran Vortex, CFD, Energi Terbarukan, Sudu Jalan, Sudu Pengarah, Turbin *Open Flume*.

***SIMULATION AND EXPERIMENT THE EFFECT OF
GUIDE VANES AND RUNNERS ON THE
PERFORMANCE OF OPEN FLUME TURBIN VORTEX***

Student's Name : Riky Permana
NRP : 02311745000035
Department : Teknik Fisika FTI – ITS
Supervisor : Ir. Sarwono, MM
Erna Septyaningrum S.T., M.T

Abstract

This study has modified the open flume turbine. The open flume turbine tank is designed to be a spiral case so that the water flowing into the tank will form a vortex flow. With the vortex flow that occurs in the open flume turbine, it will be analyzed the effect on the performance of the open flume turbine in terms of variations in the angle of the guide vanes, the number of blades, and the angle of runner using experimental and simulation methods. Based on the analysis of the effect of the guide vane angle, the smaller the angle of the guide vanes affects the change in flow velocity. The initial velocity of the water before regarding guide vanes is 2.52 m/s and with the change in the guide vane angle on 25°, 35° and 45°, the water velocity in outlet guide vanes is 4.2 m/s, 3.78 m/s and 3.36 m/s. The effect of the blade angle is that the larger the angle set will provide greater rotation and torque. In the 25° guide vanes configuration and the number of blades 5 the torque values obtained at 30, 40, and 50 respectively are 0.2387 Nm, 0.2698 Nm, and 0.3205 Nm. Increasing the number of blades has the same overall effect as the increase in the blade area, because both of these increases cause more water flow to the blade, to increase the performance of the open flume turbine. In the 25° guide vanes configuration, the angle of blade is 50°, the torque values are obtained sequentially in the number of blades 3, 4, and 5 are 0.2044 Nm, 0.2534 Nm, dan 0.3205 Nm. Based on the experimental results the highest C_p value is 0.069 or in the form of efficiency of

6.9%. This value is obtained in the 25° guide vane configuration, the number of blades 5, and the blade angle 50°

Keywords: CFD, Guide Vanes, Open Flume Turbine, Renewable Energy, Runner, Vortex Flow.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kekuatan lahir maupun batin kepada saya selaku penulis, serta melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita, khususnya kepada penulis karena atas izin dan karunia-Nya lah penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam melaksanakan tugas akhir serta menyelesaikan laporan dengan judul “**Simulasi Dan Uji Eksperimen Pengaruh Guide Vanes Dan Runner Terhadap Kinerja Turbin Open Flume Aliran Vortex**” yang dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan ini penulis banyak dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang terlibat secara langsung maupun secara tidak langsung, khususnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- a. Ayah, ibu dan kakak tercinta sebagai sumber semangat dan kekuatan yang selalu memberikan dukungan moril maupun materiil dengan sepenuh hati dan tulus kepada penulis.
- b. Agus Muhammad Hatta, ST., M.Si., Ph.D sebagai Kepala Departemen Teknik Fisika FTI ITS
- c. Ir. Sarwono MM, dan Erna Septyaningrum S.T., M.T sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- d. Dr. Ridho Hantoro, S.T., MT. selaku dosen pembimbing tambahan yang memberikan ide, arahan, dan motivasi kepada penulis dalam pelaksanaan tugas akhir.
- e. Dyah Sawitri S.T., M.T selaku dosen wali yang banyak memberikan nasihat, saran, dan arahan kepada penulis.
- f. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika FTI ITS yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan simulasi.

- g. Seluruh bapak dan ibu dosen yang telah banyak memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
- h. M. Rizal sebagai rekan dan perancang sistem turbin *open flume* dalam cakupan *draft tube* dan *rotasional* tangki sebagai rekan berdiskusi selama menyelesaikan tugas akhir ini.
- i. Fernando, Iqbal, dan Cesa selaku teman berdiskusi dan rekan di bidang hidrokinetik yang berbagi ilmu dan pengalaman selama tugas akhir.
- j. Ahmad Haqqi dan Radian Indra yang membantu dalam pelaksanaan survei lokasi pengujian dan pengambilan data.
- k. Banu, Rizky, Adam, Rika, Ayu, Alan yang telah membantu dalam proses pengambilan data dan dokumentasi uji eksperimen.
- l. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan maupun penyajian laporan ini baik dari segi materi yang disampaikan maupun teknis penulisan, mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar pada masa yang akan datang penulis dapat menjadi lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan membawa ilmu pengetahuan umumnya bagi semua pembaca dan khususnya bagi penulis.

Surabaya, 23 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	ix
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pembangkit Tenaga Picohydro.....	5
2.2 Sistem Turbin Open Flume	8
2.3 Konsep Sudu Turbin Open Flume	12
2.4 Soliditas Turbin	14
2.5 Simulasi CFD	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Lokasi Pengambilan Data.....	19
3.3 Desain Turbin Open Flume	20
3.4 Fabrikasi Sistem Turbin Open Flume.....	24
3.5 Pengujian Ekperimen	25
3.6 Metode Penelitian Numerik.....	31
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Validasi Eksperimen dan Simulasi.....	38

4.2	Data Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi ...	39
4.3	Kontur Pembentukan Aliran Vortex.....	42
4.4	Analisa Pengaruh Sudut <i>Guide Vane</i>	44
4.5	Analisa Pengaruh Sudut Sudu <i>Runner</i>	48
4.6	Analisa Pengaruh Jumlah Sudu <i>Runner</i>	54
4.7	Analisa Daya Mekanik dan Performansi Turbin	56
4.8	Diskusi.....	60
BAB V PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Turbin <i>open flume</i> [13]	8
Gambar 2.2	Diagram Blok Sistem Turbin Open Flume	9
Gambar 2.3	Tangki <i>Spiral Case</i>	10
Gambar 2.4	<i>Draft tube</i> pada pembangkit turbin air [15]	12
Gambar 2.5	Sudu <i>runner</i> [17].....	13
Gambar 2.6	Segitiga Kecepatan Turbin Axial [17]	14
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	18
Gambar 3.2	Lokasi Eksperimen.....	19
Gambar 3.3	Data Kecepatan Air Sungai Dusun Sempur	20
Gambar 3.4	Desain Tangki Open Flume	21
Gambar 3.5	Pembuatan Sudu Jalan <i>Profile</i> Lengkung	22
Gambar 3.6	Variasi Jumlah Sudu Jalan	23
Gambar 3.7	Variasi Sudut Sudu Jalan	23
Gambar 3.8	Desain Guide Vanes.....	24
Gambar 3.9	Hasil Fabrikasi Turbin <i>Open Flume</i>	25
Gambar 3.10	Skema instalasi turbin open flume	26
Gambar 3.11	Pengukuran Kec. Air dengan <i>Current Meter</i>	28
Gambar 3.12	Pengukuran Putaran Poros dengan <i>Tachometer</i>	28
Gambar 3.13	Pengukuran Torsi dengan Neraca Pegas	29
Gambar 3.14	Pengaturan Konfigurasi Turbin.....	30
Gambar 3.15	Sub Domain Turbin.....	32
Gambar 3.16	Meshing Domain.....	33
Gambar 3.17	Pengamatan dan Pengambilan Data pada Turbin pada Koordinat x, y, dan z	36
Gambar 4.1	Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi untuk Sudu Pengarah: (a) 45°, (b) 35°, dan (c) 25°	42
Gambar 4.2	Pembentukan vortex pada turbin open flume	43
Gambar 4.3	Pengaruh Sudu Pengarah terhadap Kinerja Turbin pada Sudut Sudu : (a) 30°, (b) 40°, dan (c) 50° ..	45
Gambar 4.4	Kontur Kecepatan pada Guide Vane untuk Sudut : (a) 25°, (b) 35°, dan (c) 45°	47

Gambar 4.5	Hubungan Sudut Sudu terhadap Putaran Poros dan Torsi untuk Sudut Sudu Pengarah 25°	49
Gambar 4.6	Hubungan Sudut Sudu terhadap Putaran Poros dan Torsi untuk Sudut Sudu Pengarah 35°	49
Gambar 4.7	Hubungan Sudut Sudu terhadap Putaran Poros dan Torsi untuk Sudut Sudu Pengarah 45°	50
Gambar 4.8	Kontur Tekanan Jumlah Sudu 3 untuk Sudut : (a) 30° , (b) 40° , dan (c) 50°	51
Gambar 4.9	<i>Velocity Vector</i> Jumlah Sudu 3 untuk Sudut : (a) 30° , (b) 40° , dan (c) 50°	53
Gambar 4.10	<i>Velocity Vector</i> pada Kemiringan Sudu 50° untuk Jumlah Sudu : (a) 3, (b) 4, dan (c) 5	55
Gambar 4.11	<i>Velocity Vector</i> pada Kemiringan Sudu 50° untuk Jumlah Sudu : (a) 3, (b) 4, dan (c) 5	56
Gambar 4.12	Pengaruh Sudut Sudu terhadap Daya Mekanik dan CP untuk Sudu Pengarah 25°	58
Gambar 4.13	Pengaruh Sudut Sudu terhadap Daya Mekanik dan CP untuk Sudu Pengarah 35°	59
Gambar 4.14	Pengaruh Sudut Sudu terhadap Daya Mekanik dan CP untuk Sudu Pengarah 45°	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Dimensi Tangki	21
Tabel 3.2	Dimensi Sudu Jalan	22
Tabel 3.3	Parameter Penelitian	27
Tabel 3.4	Proses meshing	33
Tabel 3.5	Proses setup CFD pada sudu 3 50° dan 25°	35
Tabel 4.1	Hasil Validasi Sudu 3 50° Sudut Guide Vanes 25°	38
Tabel 4.2	Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Guide Vane 45°	39
Tabel 4.3	Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Guide Vane 35°	40
Tabel 4.4	Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Guide Vane 25°	40
Tabel 4.5	Nilai Soliditas Tiap Variasi Jumlah Sudu.....	54
Tabel 4.6	Performansi Turbin pada Guide Vanes 25°	57
Tabel 4.7	Performansi Turbin pada Guide Vanes 35°	57
Tabel 4.8	Performansi Turbin pada Guide Vanes 45°	58

DAFTAR SIMBOL

P_h	Daya potensi air (W)
P_T	Daya poros turbin (W)
C_p	Koefisien daya
ρ	Massa jenis air (kg/m^3)
g	Percepatan gravitasi (m/s^2)
Q	Debit aliran (m^3/s)
h	Beda ketinggian (m)
W	Usaha (Nm)
v	Kecepatan (m/s)
ω	Kecepatan angular (rad/s)
τ	Torsi (Nm)
F	Gaya (N)
r	Jari jari turbin (m)
D_t	Diameter turbin (m)
n_b	Jumlah sudu turbin
c	Panjang <i>Chord</i> sudu (m)
σ	Soliditas turbin
w	Kecepatan relatif (m/s)
c	Kecepatan absolut (m/s)
u	Kecepatan tangensial (m/s)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi air sebagai sumber pembangkit listrik yang bersih, murah, dan ramah lingkungan sangat penting untuk masa depan yang berkelanjutan; Menyadari fakta ini, energi hidro yang besar masih kurang dimanfaatkan [1]. Potensi besar energi listrik dari tenaga air di Indonesia hampir mencapai 94.476 MW. Sayangnya, hanya sekitar $\pm 5.3\%$ saja yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH atau sebesar 5.024 MW. Umumnya pemanfaatan pembangkit tenaga air memanfaatkan air terjun dengan *head* yang besar. Sedangkan untuk aliran sungai dengan *head* yang kecil masih belum optimal. Kapasitas aliran tersebut merupakan metode pemanfaatan *pico hydro power* dimana karakteristiknya memiliki tinggi air jatuh 1 – 6 meter atau debit aliran air rata-rata 100-700 liter/detik [2]. Salah satu teknik penerapan sistem turbin adalah melalui penggunaan aliran air vortex gravitasi. Aliran vortex selalu terjadi pada ketinggian air rendah sehingga mempercepat aliran air dari lambat ke kecepatan tinggi dan memberinya energi kinetik yang cukup tinggi untuk menghasilkan tenaga listrik [3].

Pada sistem ini terdiri dari kanal air, struktur tangki berpenampang cekung, dan turbin [4]. Air masuk melalui kanal yang mengalir secara tangensial ke dalam basin untuk membentuk pusaran air yang kuat. Pada saat air dialirkan ke tangki melalui saluran, turbin menghasilkan daya poros dari pusaran gravitasi yang terjadi saat air terkuras di dasar tangki [5].

Dalam pengembangan pemanfaatan turbin dengan *head* yang rendah telah ada penelitian yang dikembangkan diantaranya oleh Singh dan Nestmann pada tahun 2009 dalam penelitian “*Experimental optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application*” menemukan bahwa operasi turbin yang dioptimalkan secara eksperimen terdapat perbedaan dengan spesifikasi desain *vortex*. Perbedaan ini dikaitkan dengan variasi sudut aliran *guide vanes* hanya menggunakan sudut 45° [6]. Singh dan Nestmann pada tahun 2011 dalam penelitian “*Experimental*

investigation of the influence of blade height and blade number on the performance of low head axial flow turbines” menjelaskan pengaruh desain seperti *profil* sudu, tinggi sudu, dan jumlah sudu pada kinerja turbin *axial*. Mereka menyimpulkan bahwa jumlah sudu merupakan parameter yang lebih berpengaruh daripada tinggi sudu [7]. Sreerag S.R pada tahun 2016 dalam penelitian “*Effect of outlet diameter on the performance of gravitational vortex turbine with conical basin*” menemukan rasio diameter keluaran dengan diameter tangki sebesar 30% dapat memperoleh kecepatan tangensial pada basin yang besar [8]. Dan yang terbaru R. Dhakal pada tahun 2017 dalam penelitian “*Computational and experimental investigation of runner for gravitational water vortex power plant*” menyimpulkan bahwa efisiensi tertinggi dari kinerja turbin air didapat dari profile sudu melengkung [9]. Berdasarkan pada permasalahan dan penelitian yang dikembangkan maka dijadikan referesi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Mengingat latar belakang ini, penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium untuk menentukan kinerja turbin *open flume* aliran *vortex* dan menjelaskan bidang alirannya yang dipengaruhi oleh parameter sudut *guide vanes* dan *runner* (jumlah sudu dan sudut sudu). Diharapkan dari simulasi dan uji eksperimen ini akan didapatkan rekomendasi desain turbin *open flume* aliran *vortex* berdaya optimal sebagai pembangkit listrik *picohydro* dengan kecepatan aliran air yang rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang diambil dalam tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh sudut *guide vanes* terhadap karakteristik aliran dan kinerjanya pada turbin *open flume*?
- b. Bagaimana pengaruh sudut sudu *runner* terhadap karakteristik aliran dan kinerjanya pada turbin *open flume*?
- c. Bagaimana pengaruh dari jumlah sudu *runner* terhadap karakteristik aliran dan kinerjanya pada turbin *open flume*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

- a. Menganalisis pengaruh sudut *guide vanes* terhadap kecepatan aliran, kinerja torsi, dan daya yang dibangkitkan oleh turbin open *flume* aliran vortex.
- b. Menganalisis pengaruh sudut sudu *runner* terhadap kinerja torsi dan daya yang dibangkitkan oleh turbin open *flume* aliran vortex.
- c. Menganalisis pengaruh dari jumlah sudu *runner* terhadap kinerja torsi dan daya yang dibangkitkan oleh turbin open *flume* aliran vortex.

1.4 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini terdapat batasan masalah yang diberikan agar penelitian ini lebih terarah yaitu:

- a. Jenis sudu turbin yang digunakan adalah turbin *propeller* dengan aliran rendah dan diameter 120 mm.
- b. Perancangan yang dilakukan hanya sebatas perancangan *guide vane* dan sudu jalan (*runner*). Komponen komponen lain yang menjadi sistem eksperimen turbin *open flume* (seperti : geometri *draft tube* dan tangki penampang *conical*) tidak menjadi bahasan dalam tugas akhir ini.
- c. Dalam tugas akhir ini hanya dibatasi pada kondisi aliran dan efisiensi turbin sebagai respon terhadap variasi *guide vane* dan *runner*.
- d. Kecepatan Aliran yang digunakan dijaga konstan sebesar 1.3 m/s
- e. Variasi sudut *guide vane* yang akan diamati adalah 25°, 35°, dan 45°.
- f. Variasi jumlah sudu pada *runner* adalah 3, 4, dan 5 sudu dengan variasi sudut sudunya sebesar 30°, 40°, dan 50°.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tugas akhir ini akan disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya tugas akhir, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas secara singkat mengenai potensi picohydro di Indonesia, konsep dasar mengenai turbin open flume, dan aerodinamika pada sudu turbin open flume.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai diaram alir penelitian yang dimulai dengan penentuan lokasi pengujian secara eksperimen turbin open flume, penentuan parameter desain dari tangki, sudu turbin, dan sudu pengarah, tahapan dari pengujian eksperimen, serta metode penelitian numerik dengan proses simulasi yang dilakukan.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan

Pada bagian bab IV, ditunjukkan proses validasi data yang dilakukan untuk mengetahui nilai selisih dari data eksperimen dan simulasi. Selanjutnya dilakukan analisa data yang diperoleh dari hasil eksperimen dan simulasi. Beberapa hal yang dibahas pada bab ini adalah sebagai berikut : torsi yang dihasilkan oleh turbin, daya mekanik yang dibangkitkan, dan distribusi kontur kecepatan alir..

BAB V Penutup

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari keseluruhan penelitian tugas akhir ini dan saran untuk pengembangan selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Tenaga Picohydro

Menurut Arismunandar dan Susumumu Kuwahara [10], berdasarkan output yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan menjadi :

- a. Large-hydro : lebih dari 100 MW
- b. Medium-hydro : antara 15 – 100 MW
- c. small-hydro : antara 1- 15 MW
- d. Mini-hydro : daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW
- e. Micro-hydro : antara 5 kW – 100 kW
- f. Pico-hydro : daya yang dikeluarkan kurang dari 5 kW

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro adalah suatu pembangkit yang dapat menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW dan dapat diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil. Prinsip pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin dan generator [11].

Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran sungai. Aliran air ini selanjutnya menggerakkan turbin, lalu turbin menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.

2.1.2 Potensi dari Tenaga Air

Potensi tenaga air pada pikohidro adalah potensi energi yang ditimbulkan oleh tekanan air akibat gaya gravitasi bumi. Potensi energi pikohidro yang tersedia di alam adalah merupakan energi dalam bentuk energi potensial. Besarnya potensi hidrolik ditentukan oleh besarnya debit air Q dan ketinggian kemiringan sungai atau head (h). Secara matematis, besarnya potensi hidrolik dari suatu potensi energi mikrohidro dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$P_h = \rho \times g \times h \times Q \quad (2.1)$$

2.1.3 Performansi dan Efisiensi Turbin

Untuk mengetahui daya mekanik yang dihasilkan dari suatu turbin maka diperlukan variabel perhitungan tertentu yang diukur secara langsung melalui proses eksperimen. Dari persamaan fisika dasar daya dapat diperoleh dari persamaan

$$W = F \cdot s \quad (2.2)$$

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.2) dan (2.3) maka dihasilkan :

$$P = F \cdot \frac{s}{t} \quad (2.4)$$

$$P = F \cdot v \quad (2.5)$$

$$P = (F \cdot r) \cdot \left(\frac{v}{r}\right) \quad (2.6)$$

$$P = \tau \cdot \omega \quad (2.7)$$

Pada persamaan tersebut munculnya gaya yang bekerja pada masing masing sudu yang menimbulkan adanya momem gaya atau biasa disebut torsi. Torsi merupakan gaya yang menyebabkan suatu benda berotasi. Besarnya torsi dipengaruhi oleh besarnya gaya dan panjang lengan

Berdasarkan hasil penurunan tersebut maka perlu dilakukan pengukuran nilai torsi dan putaran poros. Setelah didapat nilai daya mekanik dan daya potensi air dari turbin maka dapat diperoleh performansi dari turbin air yang biasa disebut dengan istilah Cp (*coefficient of performance*)

$$Cp = \frac{P_T}{P_h} \quad (2.8)$$

2.1.4 Dasar Aliran Vortex

Air yang mengalir mempunyai energi yang dapat digunakan untuk memutar roda turbin, karena itu pusat-pusat tenaga air dibangun di sungai- sungai dan di pegunungan-pegunungan. Pusat tenaga air tersebut dapat dibedakan dalam 2 golongan, yaitu pusat tenaga air tekanan tinggi dan pusat tenaga air tekanan rendah. Kaidah energi menyatakan bahwa suatu energi akan dapat diubah

menjadi bentuk energi lain. Arus air yang mengandung energi dan energi tersebut dapat diubah bentuknya, misalnya perubahan dari energi potensial (tekanan) ke dalam energi kinetis (kecepatan), atau sebaliknya. Artinya selanjutnya dari kaidah kekekalan energi adalah apabila arus air dalam alirannya dilewatkan melalui turbin air, maka energi yang ada dalam air akan diubah menjadi bentuk energi yang lain.

Vortex adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. *Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh didalamnya [12] Pergerakan aliran fluida dapat dibedakan menjadi tiga jenis [12], yaitu:

- a. Translasi murni atau translasi *irrotasional*
- b. Rotasi murni atau translasi *rotasional*
- c. Distorsi atau deformasi murni, baik angular ataupun linier

Aliran *irrotasional* terjadi apabila elemen fluida di setiap titik tidak mempunyai kecepatan sudut netto terhadap titik tersebut. Sebaliknya aliran *rotasional* terjadi apabila elemen fluida mempunyai kecepatan sudut netto. Gerak *vortex* dapat dikategorikan sebagai dalam aliran rotasional. *Vortex* digambarkan sebagai aliran yang bergerak dan berputar terhadap sumbu vertikal sehingga terjadi perbedaan tekanan antara bagian sumbu dan sekelilingnya Berdasarkan klasifikasi aliran berputar yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari maka aliran *vortex* dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu :

- a. Aliran *vortex* bebas

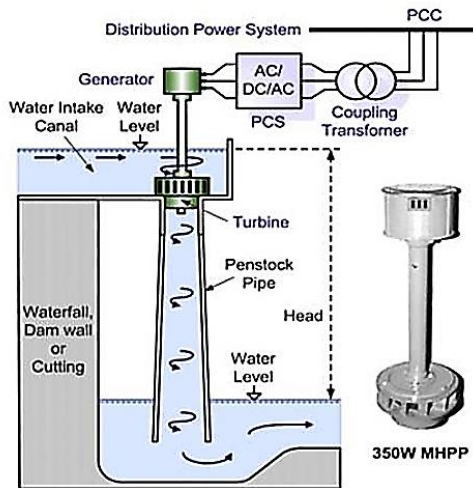
Ketika massa fluida bergerak secara alami (karena pengaruh gaya-gaya internal) dalam sebuah kurva aliran, gerakan vorteks bebas akan muncul, dalam kasus ini tidak ada torsi ataupun gaya eksternal yang mempengaruhi fluida. Vorteks bebas dikenal juga sebagai potential vorteks

b. Aliran *vortex* paksa

Apabila suatu gaya diberikan pada suatu fluida dengan maksud membuat aliran fluida berputar

2.2 Sistem Turbin Open Flume

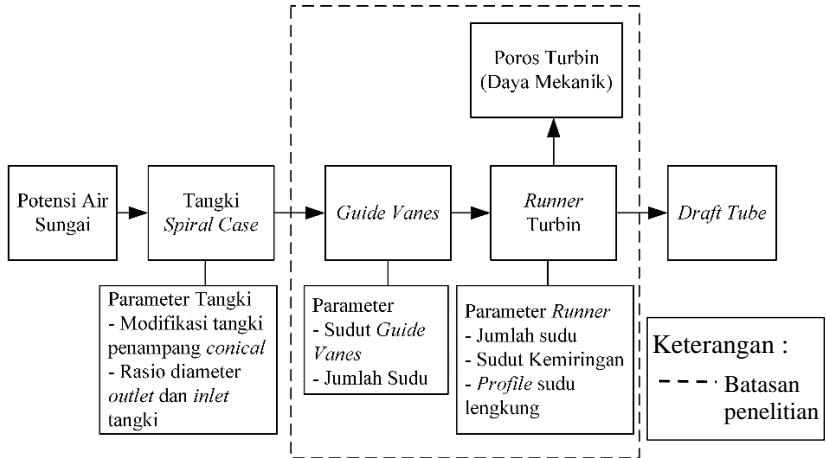
Turbin open flume termasuk dalam jenis turbin reaksi. Turbin reaksi ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan masuk dan keluar turbin. Pada sisi masuknya energi tekanan sebanding dengan energi kinetik. Pada saat fluida melewati sudu turbin, energi tekanan dan energi kinetiknya dirubah menjadi energi mekanis dan secara bertahap tekanan yang keluar dari turbin berkurang. Jenis-jenis turbin reaksi diantaranya turbin francis dan turbin propeller [12].



Gambar 2.1 Turbin *open flume* [13]

Turbin *open flume* merupakan salah satu jenis turbin reaksi (*propeller/kaplan*), dimana perbedaan antara tekanan inlet dan outlet digunakan untuk mendapatkan daya poros [13]. Bagian-bagian turbin open flume dapat dilihat pada gambar 2.1. Prinsip kerja turbin *open flume* sangat sederhana. Air yang memiliki energi potensial masuk ke dalam ruang turbin melalui *guide vane* selanjutnya memutar sudu propeller. Sehingga menghasilkan daya

turbin. Daya turbin kemudian diteruskan oleh poros menuju alternator untuk diubah ke dalam energi listrik, air yang telah memutar propeller keluar melalui *draft tube*.



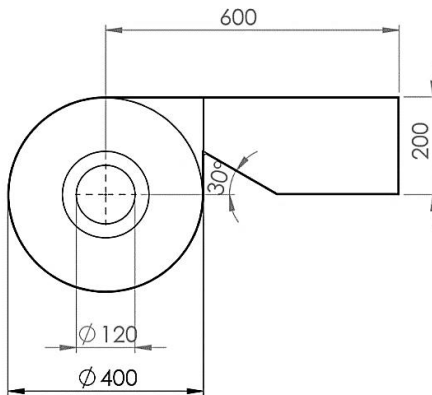
Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Turbin Open Flume

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi mengenai konsep turbin open flume pada umumnya yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Pada tangki *spiral case* aliran dibuat menjadi aliran vortex dengan mengubah bentuk tangki menjadi penampang *conical* (kerucut). Sehingga aliran air mengalir secara tangensial di dalam tangki membentuk pusaran air kuat. Diharapkan dengan adanya modifikasi ini selain dengan adanya perbedaan tekanan antara sisi masukan air di tangki dengan sisi keluaran di *draft tube* terdapat penambahan energi kinetik yang disebabkan adanya perubahan kecepatan di sisi inlet dikarenakan adanya aliran vortex. Oleh karena perlu dilakukan penelitian mengenai pola aliran yang akan terbentuk dalam sistem ini dan pengaruh perubahan variasi sudu pengarah dan sudu jalan terhadap kinerja sistem modifikasi turbin open flume ini.

Untuk dapat memanfaatkan sistem turbin ini, setidaknya dibutuhkan empat buah komponen aliran utama, yaitu :

2.2.1 Spiral Case

Penampang tangki *Spiral case* berfungsi untuk membuat aliran air sebelum memasuki sudu pengarah menjadi simetris dan seragam, dikarenakan luas penampang dari aliran berkurang secara berkala dari awal hingga akhir maka geometerinya menyerupai bentuk keong. Pada saat air masuk melalui saluran yang mengalir secara tangensial di dalam tangki *spiral case* maka akan terbentuk pusaran air yang kuat. Pusaran air ini mempercepat aliran air dari lambat ke kecepatan tinggi dan memberinya energi kinetik yang cukup tinggi.



Gambar 2.3 Tangki *Spiral Case*

2.2.2 Sudu Pengarah (*Guide Vane*)

Sudu pengarah merupakan komponen sistem turbin *open flume* yang berfungsi sebagai pengarah utama aliran air yang telah melewati tangki sehingga sudut kecepatan yang dibutuhkan dalam perencanaan sudu jalan dapat terpenuhi [14].

Dalam perancangan sudu pengarah, jumlah sudu dan tinggi sudu pengarah menjadi pertimbangan yang sangat penting untuk dilakukan, berikut adalah cara memperhitungkan tinggi dan jumlah sudu yang sesuai

$$H_{GV} = 0.4 Dt \quad (2.9)$$

$$\lambda = 0.25Dt \quad (2.10)$$

$$\alpha_{GV} = \tan^{-1} \frac{C_{2\theta}}{Q/2\pi r_{GV} h_{GV}} \quad (2.11)$$

Dimana H_{GV} adalah ketinggian sudu pengarah, λ adalah jarak sudu pengarah dengan sudu turbin, α_{GV} adalah sudut sudu pengarah, $C_{2\theta}$ adalah kecepatan tangensial fluida pada masukkan *runner* dan Q adalah *flowrate*. Aliran tangensial yang sesuai dengan *runner* digunakan untuk menentukan pengaturan sudu.

$$n_b = \frac{1}{4} \sqrt{D_t} + (4 \text{ sampai } 6) \quad (2.12)$$

Dimana n adalah jumlah sudu pengarah dan D adalah diameter turbin

2.2.3 Sudu Jalan (*Runner*)

Runner atau biasa disebut sudu jalan adalah komponen utama dari sistem turbin *open flume* karena pada komponen ini seluruh kecepatan radial akan diubah menjadi kecepatan axial atau dalam arti lain disinilah tempat terjadi konversi energi kinetik air menjadi energi mekanik yang pada akhirnya memutar poros. Pada sistem digunakan turbin berjenis propeller yang merupakan turbin reaksi dengan aliran axial, yang biasanya digunakan untuk head rendah dan debit tidak terlalu besar, dan turbin propeller masuk pada range turbin Kaplan hanya saja *runner blade* yang berbeda. Turbin propeller mempunyai *runner blades* yang tidak dapat diatur dan mempunyai atau tidak *guide vanes* yang dapat diatur untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal.

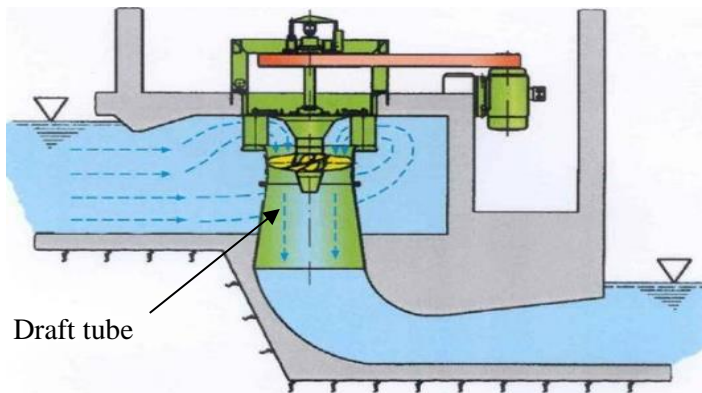
2.2.4 Pipa Hisap (*Draft Tube*)

Draft tube adalah saluran diffuser yang menghubungkan *runner* dan *outlet*. Fungsi utama *draft tube* adalah untuk meningkatkan efisiensi turbin dengan mengubah energi kinetik menjadi energi potensial secara menyeluruh dengan membuat *head artificial*. Perbedaan yang melalui *runner* menjadi besar dengan adanya *draft tube*, dikarenakan efek hisap yang timbul dari kontruksi ekspansi. Hasilnya adalah meningkatkan efisiensi turbin.

Draft tube dapat dirancang dengan berbagai cara yang berbeda, namun beberapa variasi desain dipandang kurang penting dibandingkan dengan beberapa hal lain, seperti bentuk *outlet* lingkaran atau segi empat dipandang kurang penting dibandingkan dengan luas penampang luar. Akan tetapi pembentukan *elbow* merupakan salah satu masalah yang rumit dalam merancang *draft tube*. Tantangan yang timbul adalah bagaimana membuat rancang

yang kecil/minor dan tanpa resiko terjadi kerusakan yang diakibatkan oleh kavitasi.

Draft tube turbin yang paling sederhana adalah *draft tube* yang berbentuk kerucut, hal ini biasanya dirancang vertikal yang mirip dengan kerucut terpotong atau lebih dikenal dengan kerucut es krim terbalik. Pada dasarnya *draft tube* terdiri atas 3 macam berdasarkan sSumbu vertikal poros *runner* yaitu *straight conical draft tube*, *bell mouth draft tube* dan *elbow draft tube*.



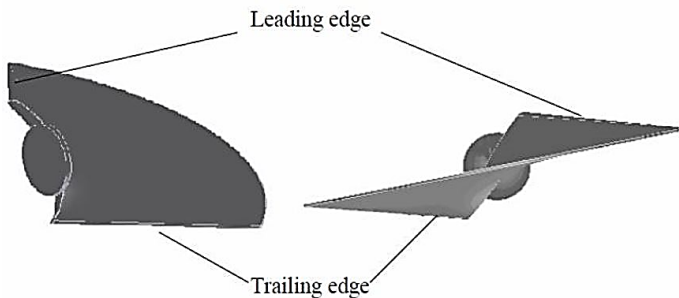
Gambar 2.4 *Draft tube* pada pembangkit turbin air [15]

Perbedaan tekanan yang melalui *runner* menjadi besar dengan adanya *draft tube*, hal ini dikarenakan efek hisap yang dari konstruksi ekspansi meningkatkan efisiensi dari turbin. *Draft tube* dapat dirancang dengan berbagai cara yang berbeda, namun beberapa variasi desain dipandang kurang penting dibandingkan dengan beberapa hal lain, seperti bentuk dari *outlet* yang berupa lingkaran atau segi empat yang dipandang kurang penting jika dibandingkan dengan luas penampang luar.

2.3 Konsep Sudu Turbin Open Flume

Bentuk airfoil sudu turbin memiliki pengaruh pada karakteristik aliran yang melewati karena bergantung pada jari-jari tepi/ (*leading edge*) airfoil, ruang maksimum dan posisi ketebalan maksimum airfoil. Jari-jari *leading edge* akan menghasilkan penambahan kecepatan tinggi ketika airfoil pada posisi mengenai

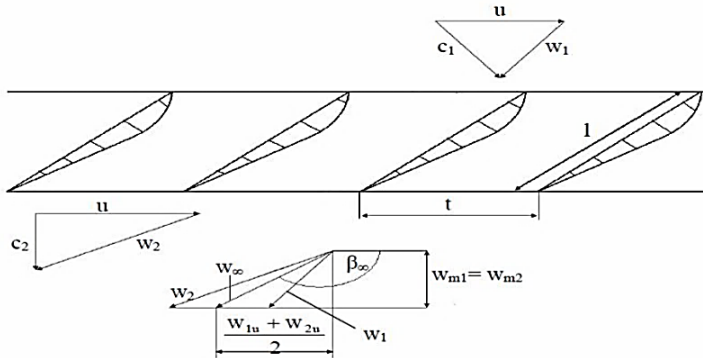
fluida dan aliran kemudian akan dipercepat dan dikembangkan melalui pemisahan aliran. Kondisi pemisahan aliran di dalam sudu turbin dapat meningkatkan gaya gesek sehingga mengurangi gaya angkat L sudu airfoil. Perubahan posisi maksimum dalam ruang aliran dengan jumlah Reynolds tertentu akan mempengaruhi koefisien lift yang dihasilkan oleh airfoil. Koefisien lift adalah salah satu variabel yang mempengaruhi daya yang dapat dikembangkan oleh sudu turbin, yang dihasilkan oleh perbedaan tekanan statis pada permukaan bagian bawah dan atas airfoil. Posisi ketebalan maksimum airfoil juga akan mempengaruhi variabel lainnya, seperti lokasi titik tekanan minimum dan distribusi tekanan yang dihasilkan. Posisi titik tekanan minimum harus sejauh kembali ke trailing edge untuk memastikan transisi dari aliran laminar ke munculnya turbulen selambat mungkin untuk mengurangi gesekan gesekan pada profil [16]



Gambar 2.5 Sudu *runner* [17]

Untuk mengetahui sudut sudu dari setiap bagian, diagram kecepatan diambil untuk setiap bagian. Kecepatan yang berbeda seperti kecepatan tangensial, kecepatan aliran, dan kecepatan pusaran ditunjukkan pada gambar. Kisi-kisi, sebagaimana disebutkan dalam gambar, terjadi oleh potongan silinder (dikembangkan menjadi panel gambar) pada *runner*. Segitiga kecepatan pertama terjadi ketika air hanya masuk ke *runner* (sebelum kisi), dan segitiga kecepatan lainnya terjadi pada saat air meninggalkan *runner* (setelah kisi). Komponen vertikal w_{m1} dan w_{m2} adalah kecepatan aliran dan sama. Kecepatan relatif dapat ditentukan dengan mengambil rata-rata kecepatan relatif pada inlet

(w_1), dan kecepatan relatif di outlet (w_2) dan β_∞ menunjukkan arahnya. Nilai "t" menunjukkan jarak antara dua sudu yang berdekatan dan "l" menunjukkan panjang sudu [17].



Gambar 2.6 Segitiga Kecepatan Turbin Axial [17]

Menggambar segitiga kecepatan pada setiap bagian blade dan menggunakan persamaan berikut, kecepatan tangensial, kecepatan inlet, kecepatan outlet, kecepatan relatif dan sudut blade di setiap bagian dihitung .

2.4 Soliditas Turbin

Bentuk dari turbin akan mempengaruhi performa dan efisiensinya. Pada turbin yang memanfaatkan gaya lift untuk berputar seperti contoh turbin darrieus, secara teori bernaulli gaya lift yang dihasilkan akan lebih besar ketika nilai sapuan turbin lebih banyak. Dengan itu untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu diketahui nilai soliditas dari turbin. Nilai Soliditas pada turbin merupakan seberapa banyak luas sapuan sudu. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai solidity dari suatu turbin

$$\sigma = \frac{n_b \cdot c}{2\pi r} \quad (2.13)$$

2.5 Simulasi CFD

Secara definisi, *computational fluid dynamics* (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara prediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan matematika. CFD sebenarnya mengganti persamaan -

persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan - persamaan aljabar [18]. Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan dalam simulasi CFD menurut Tuakia [18], yaitu:

a. *Preprocessing*

Preprocessing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (*Computer Aided Design*), membuat *mesh* yang sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya. *Meshing* adalah proses pemecahan domain menjadi volume yang lebih kecil. Hal ini dilakukan untuk memudahkan diskritisasi domain aliran dan menerapkan persamaan pengendali pada domain aliran. Simulasi didapatkan secara akurat jika pemilihan *meshing* pada sebuah geometri dibuat mengikuti prediksi perubahan pola aliran yang terjadi.

b. *Processing*

Processing (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Beberapa pengaturan yang akan dilakukan diantaranya adalah *models, materials, boundary conditions, operating conditions, control and monitoring conditions, serta initialize conditions*

c. *Post Processing*

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang dapat disajikan dalam bentuk gambar, kurva, dan animasi. *Post processing* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Hasil yang akan divisualisasikan adalah :

- Domain *geomatry* dan *display*
- Plot *velocity vektor*
- Plot kontur

Halaman sengaja dikosongkan

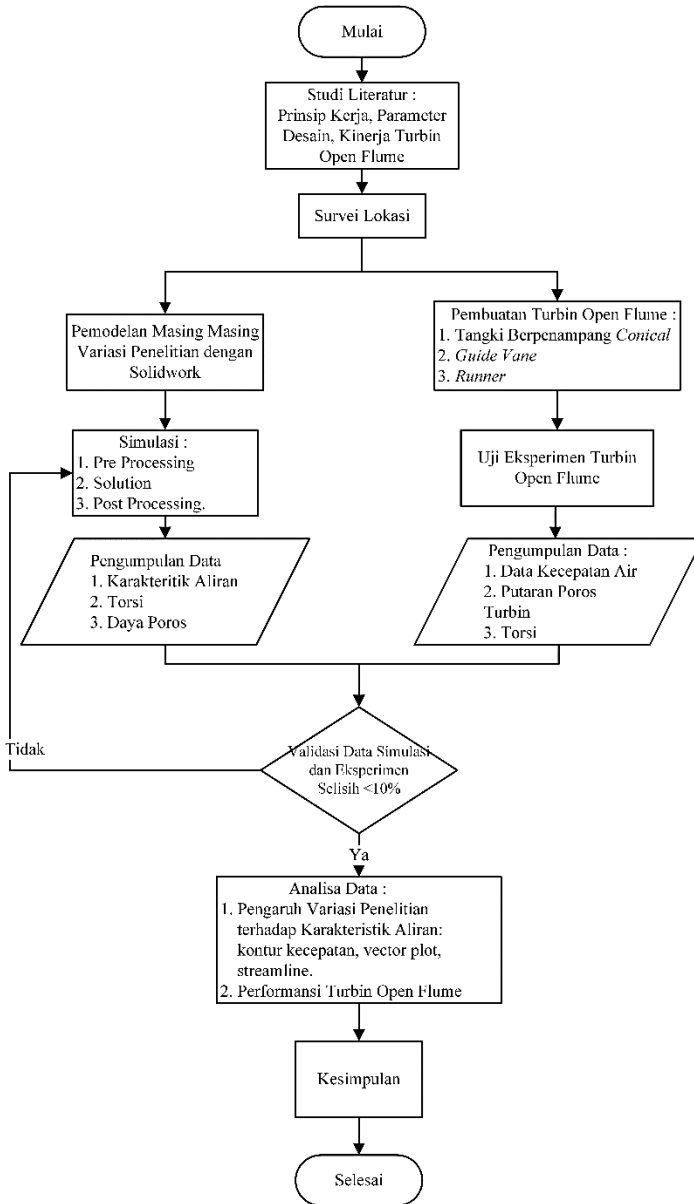
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan mengkaji beberapa studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan berbagai teori yang dapat menunjang pengerjaan tugas akhir. Referensi yang digunakan berkaitan dengan penelitian mengenai pengaruh desain turbin *open flume* yaitu bentuk sudu turbin dan tangki aliran *vortex* sebagai dasar untuk penentuan desain yang akan diterapkan pada penelitian. Selain itu mencakup juga mengenai pemahaman aliran *vortex* dan segitiga kecepatan daya turbin. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal-jurnal, buku, laporan tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya.

Metode yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan aliran yaitu dengan memodifikasi tangki *open flume* menjadi berpenampang cekung sehingga aliran air membentuk *vortex* terlebih dahulu. Dengan adanya perubahan tersebut kemudian ditentukan variabel penelitian yang akan dibahas yaitu mencakup pengaruh dari sudut sudu pengarah, jumlah sudu turbin, dan sudut sudu turbin terhadap kinerja turbin *open flume* aliran *vortex* ini.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara eksperimen untuk memperoleh data kecepatan air, putaran poros dan torsi. Parameter parameter yang tidak dapat diperoleh pada saat eksperimen seperti distribusi kecepatan, *velocity vector* aliran, dan terbentuknya *vortex* pada tangki *open flume* kemudian dilihat pada hasil simulasi dengan memasukkan data input hasil dari eksperimen. Tahapan proses penelitian turbin *open flume* aliran *vortex* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.2 Lokasi Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data turbin open flume ini bertempat di daerah Dusun sempur, Desa Seloliman, Mojokerto. Lokasi ini dipilih karena adanya kesesuaian ketinggian jatuh air sungai dengan tinggi turbin open flume yang dirancang sehingga air sungai dapat teralirkan ke sistem turbin. Selain itu sungai tersebut juga memiliki perbedaan kecepatan aliran pada setiap titik.

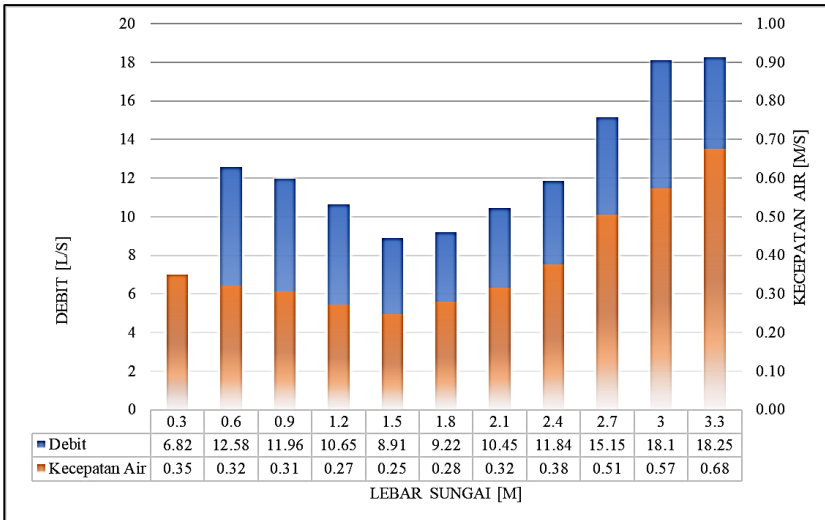
Pengambilan data dengan cara mengambil dua titik referensi yang diberi jarak 50 cm. Titik tersebut dibuat untuk menghitung kecepatan aliran secara konvensional yaitu menggunakan pelampung yang kemudian jarak tersebut dibagi waktu tempuh pelampung. Dengan lebar sungai sebesar 3.3 meter kemudian diambil kedalaman sungai pada kedua titik setiap 30 cm.



(a) Tampak atas (b) Tampak depan

Gambar 3.2 Lokasi Eksperimen

Berikut adalah hasil pengukuran sungai di desa sempur ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Data Kecepatan Air Sungai Dusun Sempur

Berdasarkan gambar 3.3 dapat diketahui penyebaran kecepatan air tertinggi terletak di jarak 2.7 sampai dengan 3.3 meter dari titik referensi pengukuran. Lokasi titik ini kemudian akan menjadi lokasi untuk pengambilan sumber air untuk dilewatkan ke sistem turbin *open flume* yang telah dibuat.

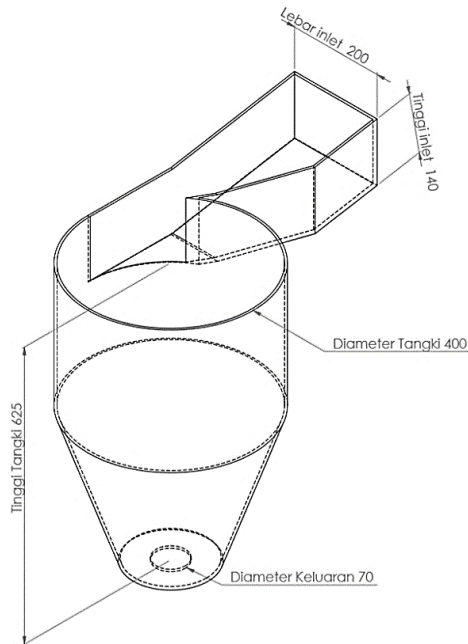
3.3 Desain Turbin Open Flume

Proses selanjutnya yaitu melakukan desain komponen turbin *open flume*. Parameter desain yang akan dirancang mengacu pada literatur dan jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil dari desain ini kemudian akan menjadi acuan untuk proses selanjutnya yaitu fabrikasi turbin open flume dan desain modeling pada saat melakukan simulasi. Adapun komponen komponen yang telah didesain berikut ini :

3.3.1 Desain Tangki Open Flume

Dalam penentuan desain tangki turbin open flume beberapa jurnal penelitian digunakan sebagai referensi diantaranya yaitu Sagar Dhakal menyarankan bahwa tangki berpenampang kerucut dengan lubang pembuangan di tengah bawah adalah konfigurasi yang menghasilkan kecepatan masukan air yang menghasilkan

pusaran air lebih cepat dibanding dengan tangki berpenampang silinder [1]. Wanchat dan Suntivarakorn juga menyarankan rasio diameter optimal untuk diameter outlet dan inlet adalah 0,14-0,18 [19]. Hal ini bertujuan untuk memodifikasi model tangki open flume untuk mempercepat aliran air yang akan mengenai turbin *propeller* dengan mengubah terlebih dahulu kecepatan rata-rata air masuk menjadi pusaran air di dalam tangki. Adapun referensi ukuran tangki yang akan didesain ditunjukkan pada Tabel 3.1.



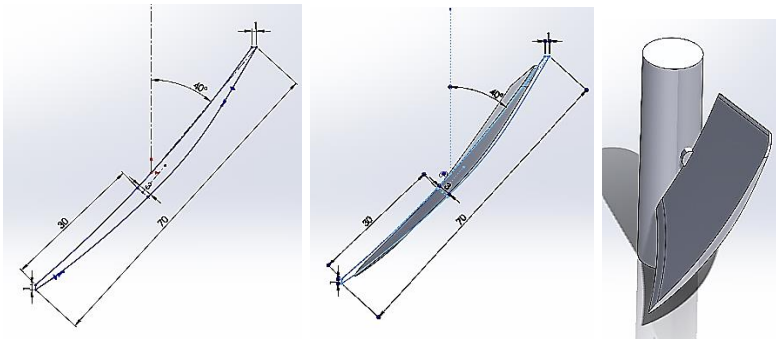
Gambar 3.4 Desain Tangki Open Flume

Tabel 3.1 Dimensi Tangki

Parameter Tangki	Nilai Referensi [mm]
Diameter tangki	400
Tinggi tangki	625
Diameter keluaran	70
Lebar saluran masuk	200
Tinggi saluran masuk	140

3.3.2 Desain Runner Turbin

Pembuatan sudu jalan diawali dengan membuat *airfoil*. Pembuatan *foil* dilakukan dengan membuat sketsa sudu lengkung terlebih dahulu dengan ditentukan panjang *chord*nya 70 mm dan *max chamber* nya 3 mm. Kemudian *airfoil* sudu diatur diameternya nya dengan panjang 120 mm dan ujung dari sudu dibuat *fillet* untuk membentuk bagian *foil leading* dan *trailing edge*. Setelah dibuat *profil* sudu kemudian dibuat poros yang disatukan dengan *hub rotor*.



Gambar 3.5 Pembuatan Sudu Jalan *Profile* Lengkung

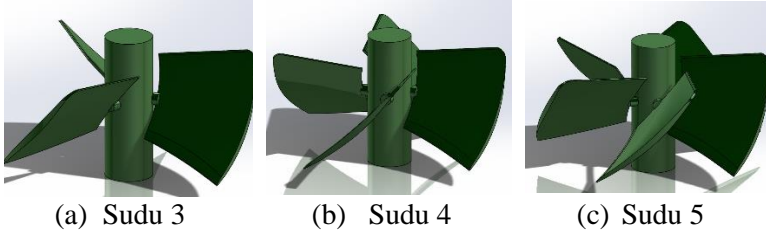
Adapun parameter sudu jalan yang telah didesain ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Dimensi Sudu Jalan

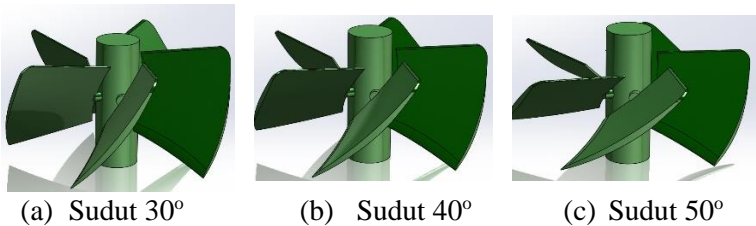
Parameter Sudu Jalan	Nilai Referensi [mm]
Diameter Turbin	120
Panjang <i>Chord</i>	70
<i>Max Chamber</i>	3
Diameter Hub	20
Tinggi Hub	70

Parameter runner yang akan dianalisa yaitu sudut sudu dan banyaknya jumlah sudu. Berdasarkan variabel bebas yang telah ditentukan yaitu sudut sudu 30°, 40°, dan 50° serta jumlah sudu sebanyak 3, 4, dan 5 maka terdapat 9 konfigurasi profil sudu yang

akan dianalisa menggunakan CFD. Gambar 3.6 dan 3.7 merupakan konfigurasi yang diterapkan pada penelitian ini.



Gambar 3.6 Variasi Jumlah Sudu Jalan

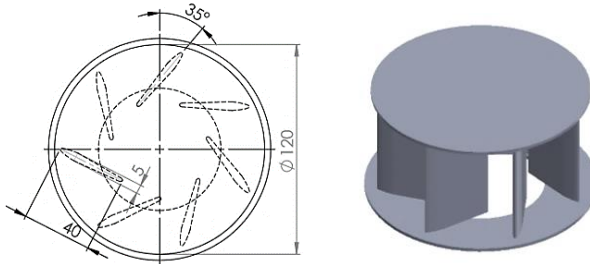


Gambar 3.7 Variasi Sudut Sudu Jalan

3.3.3 Desain Guide Vanes

Desain sudu pengarah dibuat membentuk suatu airfoil dengan panjang *chord* 40 mm dan *max chamber* 5 mm. Pembentukan ini dikarenakan untuk memenuhi fungsi dari sudu pengarah yaitu memberikan pengaruh terhadap karakteristik aliran. Air melalui titik pemisahan aliran pada saat mengenai *leading edge* sudu pengarah akan menimbulkan percepatan aliran air.

Dari pertimbangan rumus perhitungan 2.9 sampai dengan 2.12 yang telah disebutkan di bab sebelumnya maka desain guide vane yang dipilih ditunjukkan pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Desain Guide Vanes

3.4 Fabrikasi Sistem Turbin Open Flume

Pada langkah awal fabrikasi ini dibuat sudu hasil modifikasi dari *axial fan* dengan bahan polyester (PBT) yang memiliki sifat plastik yang kuat, kaku, dan dapat direkayasa. Dengan konstruksi profil sudu yang tipis, kecil, kelengkungan halus, dan konstruksi yang solid, konsep ini disesuaikan untuk pengaruh penambahan sudu pada turbin yang memerlukan konfigurasi jumlah dan sudut sudu yang bisa di atur pemasangan pada *hub* rotor. *Hub* adalah bagian rotor yang berada di pusat rotasi. *Hub* dibuat dari pipa besi dengan diameter 20 mm yang melalui proses pemesinan sehingga memungkinkan untuk dipasang batang sudu.

Selanjutnya pembuatan *guide vane* atau sudu pengarah. Bahan yang digunakan dalam pembuatan sudu pengarah ini yaitu besi dengan bagian pusat *max chamber* sudu pengarah dipasang poros untuk pengekaman bagian sudu pengarah dengan penampang penahannya. Selain itu dengan adanya poros ini bisa dilakukan pengaturan sudut sudu pengarah.

Untuk tahapan pembuatan tangki *spiral case* melewati proses pembentukan dengan mesin *rolling* agar terbentuk geometri kerucut seperti yang telah didesain. Bahan yang digunakan adalah pelat besi dengan hasil akhirnya dilakukan pengecatan agar tidak mudah korosif. Sedangkan untuk draft tube dibuat dengan bahan Pipa PVC. Pipa PVC yang digunakan untuk pembuatan *draft tube* ini memiliki diameter sebesar 4 inch. Hasil dari fabrikasi ini kemudian ditunjukkan melalui gambar 3.9.



(a) Sudu



(b) Guide vane

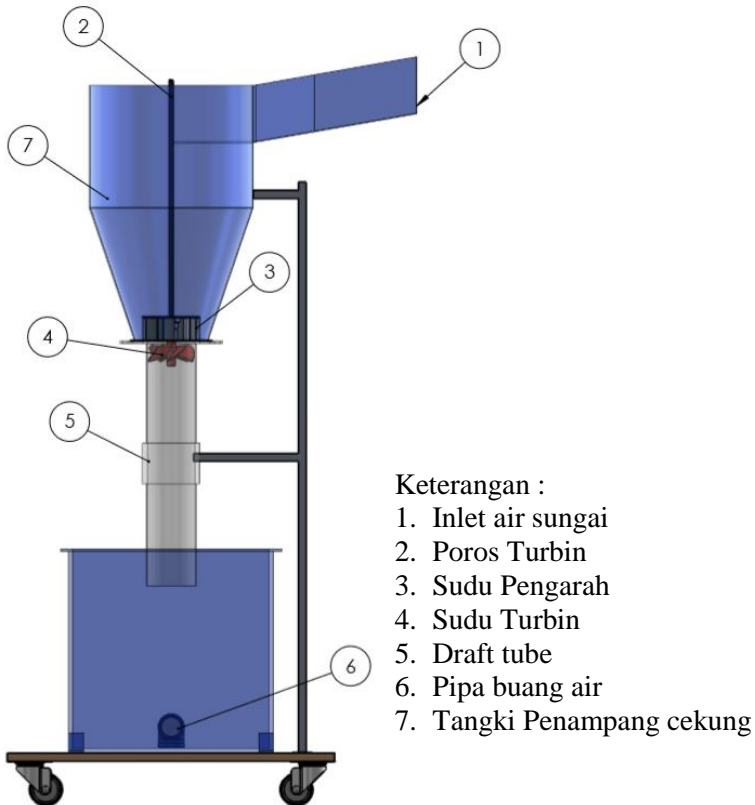


(c) Tangki dan Draft tube

Gambar 3.9 Hasil Fabrikasi Turbin *Open Flume*

3.5 Pengujian Ekperimen

Uji eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi batas yang terkontrol [20]. Pengujian eksperimen dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menghitung performansi turbin open flume. Dalam eksperimen ini akan diambil data berupa laju alir air masukan saluran, putaran poros, dan torsi. Pengujian dilakukan dengan pengambilan tiga data percobaan dengan variasi sudut sudu pengarah 25° , 35° , 45° , jumlah sudu 3, 4, 5 dan sudut sudu 30° , 40° , dan 50° . Sehingga total konfigurasi variasi sebanyak 27 data.



Gambar 3.10 Skema instalasi turbin open flume

Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.10, dimana sumber air diambil dari aliran sungai melalui pipa 4 inch yang diarahkan ke saluran masuk aliran sistem turbin open flume. Air yang masuk menuju saluran turbin open flume akan melewati saringan dengan celah kecil dan berfungsi untuk meluruskan aliran serta meminimalkan turbulensi pada aliran fluida. Air kemudian akan mengalir ke *rotasional* tangki untuk mempercepat aliran dan pembentukan aliran vortex. Di dasar tangki dipasang *guide vane* dengan konfigurasi sudut sudunya yang kemudian akan

menyearahkan aliran air menuju ke sudu turbin sehingga akan menghasilkan putaran poros dan torsi yang akan diukur nilainya.

Pada penelitian ini terdapat parameter input dan parameter output yang merupakan variabel-variabel yang akan diteliti dalam rancangan penelitian ini. Parameter input terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah, dan parameter output terdiri dari variabel yang diukur saat eksperimen dilakukan dan variabel yang dihitung setelah eksperimen dilakukan. Tabel 3.3 memperlihatkan parameter parameter input dan output untuk rencana penelitian

Tabel 3.3 Parameter Penelitian

Parameter Input		Parameter Output	
Variabel kontrol	Variabel bebas	Variabel diukur	Variabel Terikat
Data Desain H_{gross} : 1800 mm H_{tangki} : 625 mm H_{draftube} : 600 m D_{tangki} : 400 mm D_{turbin} : 120 mm V_{air} : konstan	<ul style="list-style-type: none"> ○ n_{sudu} : 3,4, dan 5 buah ○ Sudut sudu : 30°, 40° dan 50°. ○ Sudut <i>guide vane</i> : 25°, 35° dan 45°. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kecepatan Putaran (rpm) ○ Momen Puntir (kg) ○ Total Head air (m) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Daya air yang mengalir (W) ○ Daya Poros (W) ○ Torsi (Nm) ○ Effisiensi

3.5.1 Perlengkapan Pengujian

Berikut perlengkapan pengujian turbin *open flume* yang diperlukan adalah :

a. *Current meter*

Current meter digunakan untuk mengukur kecepatan aliran pada sisi masuk air. Pemasangan *current meter* ditempatkan setelah air melewati saringan dengan celah kecil. Hal ini dilakukan karena fungsi saringan pada sisi masukan saluran diharapkan dapat menyearahkan aliran air pada saluran tersebut.



Gambar 3.11 Pengukuran Kec. Air dengan *Current Meter*

b. *Tachometer*

Pengukuran putaran poros turbin dilakukan dengan menggunakan *tachometer infrared*. Penggunaan *tachometer* ini yaitu dengan mensejajarkan sinar *infrared* pada statip dengan sifat dapat memantulkan cahaya yang terpasang dibagian poros turbin. Satuan yang terbaca pada *tachometer* yaitu rev/min.



Gambar 3.12 Pengukuran Putaran Poros dengan *Tachometer*

c. Neraca Pegas

Metode pengambilan data eksperimen menggunakan neraca pegas dilakukan untuk mengukur momen puntir dalam satuan kg. Kemudian dengan diukur panjang

lengan dari poros dan hasil kalinya dengan momen puntir dan percepatan gravitasi maka dapat diketahui nilai torsinya.



Gambar 3.13 Pengukuran Torsi dengan Neraca Pegas

3.5.2 Prosedur Pengujian

Sebelum pelaksanaan proses pengujian terdapat beberapa persiapan yang harus dilakukan agar pengambilan data dapat dilakukan dengan baik.

- a. Melakukan perakitan komponen turbin open flume yang meliputi tangki *spiral case*, *draft tube*, sudu pengarah, dan sudu jalan.
- b. Mengatur sudut masukan air pada 30° .
- c. Memasang pipa draft tube dengan panjang 600 mm.
- d. Melakukan pengaturan konfigurasi sudu pengarah diawali dengan variasi sudut 45°
- e. Memasang sudu turbin dengan jumlah sudu 3 buah dan sudut sudu 30°
- f. Persiapan alat ukur yang digunakan seperti *current meter*, *tachometer*, dan neraca pegas.
- g. Mengatur kecepatan inlet air turbin yaitu di jaga konstan dengan cara mengatur posisi pipa sambungan aliran air dari sungai.
- h. Menempatkan *current meter* di saluran masuk air turbin *open flume* dengan kondisi penempatan setelah saringan air masuk.

- i. Mengukur putaran poros turbin dengan alat ukur tachometer dengan tanpa beban. Pengukuran putaran poros ini dilakukan sebanyak 3 kali dengan rentang waktu setiap 10 detik sekali sehingga di akhir diambil nilai rata-ratanya.
- j. Memasang dan mengikat tali neraca pegas pada bagian sisi tangki turbin sedangkan ujung lainnya neraca pegas dikaitkan pada baut yang telah terpasang di bagian sisi *pulley*.
- k. Mengukur torsi pada beban maksimum dengan putaran poros turbin sampai terhenti. Pengukuran torsi ini dilakukan sebanyak 3 kali untuk akurasi data.
- l. Mengulangi tahap c dengan mengubah konfigurasi sudu menjadi berjumlah 4 dan 5 serta masing masing sudut sudu menjadi 40° dan 50°
- m. Mengulangi tahap b untuk pengaturan sudu pengarah dengan sudut 25° dan 35° .
- n. Menganalisa data penelitian yang didapatkan untuk mengetahui hubungan variabel yang telah ditentukan.

(a) Sudut Masukan 30°

(b) Perakitan Turbin

Gambar 3.14 Pengaturan Konfigurasi Turbin

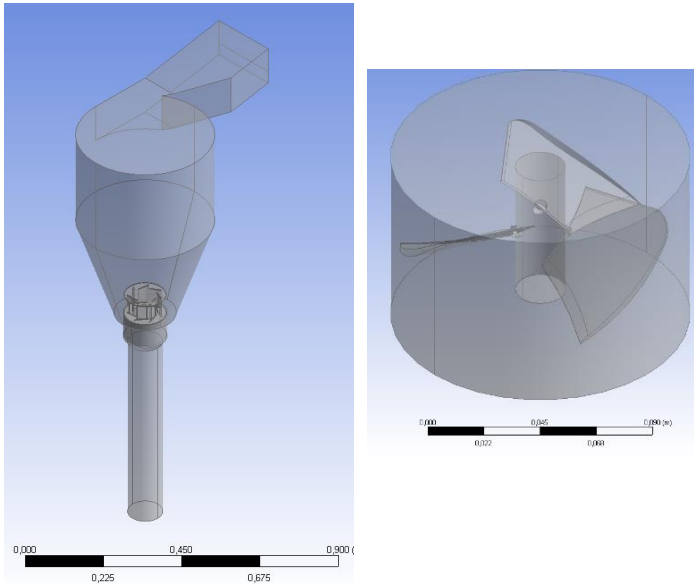
3.6 Metode Penelitian Numerik

Studi numerik dilakukan untuk menganalisis lebih detail distribusi kecepatan air, *streamline*, dan vortex aliran air. Tahap pemodelan dan simulasi pada penelitian ini menggunakan CFD. Tahap utama dalam pemodelan dan simulasi yang dilakukan adalah *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

3.6.1 Pemodelan Sub Domain Turbin Open Flume

Pada pemodelan turbin open flume dibuat 2 sub domain yaitu domain stasioner dan *rotary*. Pembuatan sub domain ini dimaksudkan untuk membuat *interface* yaitu proses penyamaan jenis fluida antara selubung domain stasioner dan *rotary* sehingga dapat terlihat dan dianalisa rotasi turbin *propeller* pada tangki. Domain stasioner terdiri dari bagian bagian turbin open flume yang tidak bergerak yaitu tangki, saluran masuk, sudu pengarah, pipa *drat tube*, dan saluran keluar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15.(a). Sedangkan untuk domain *rotary* yaitu bagian turbin *open flume* yang berputar atau sudu turbin dan ditunjukkan pada Gambar 3.15.(b).

Langkah awal pembuatan yaitu dengan membuat sudu jalan terlebih dahulu pada bagian *rotary* domain. Bentuk sudu yang telah menyerupai *airfoil* kemudian diselubungi tabung dengan cara *engextrude solid* dan selanjutnya tabung tersebut *disubtract* untuk menghasilkan *profil* yang membentuk desain sudu. Pada permukaan tabung yang membentuk *profil* sudu kemudian dibuat *guide vane*. Pada bagian yang telah dibuat *guide vane* kemudian dibuat *rotasional tank* dan menjadikan *rotasional tank* sebagai bagian *solid* utama untuk dilakukan *subtract* terhadap *guide vane*. Bagian *rotasional tank* ini kemudian ditambahkan desain *draft tube*. Bagian bagian ini kemudian akan dinamakan sub domain *stationary*. Hasil dari proses pemodelan sub domain kemudian diperlihatkan pada gambar 3.15.

(a) Domain *Stasioner*(b) Domain *Rotary***Gambar 3.15** Sub Domain Turbin

3.6.2 Proses Meshing Turbin Open Flume

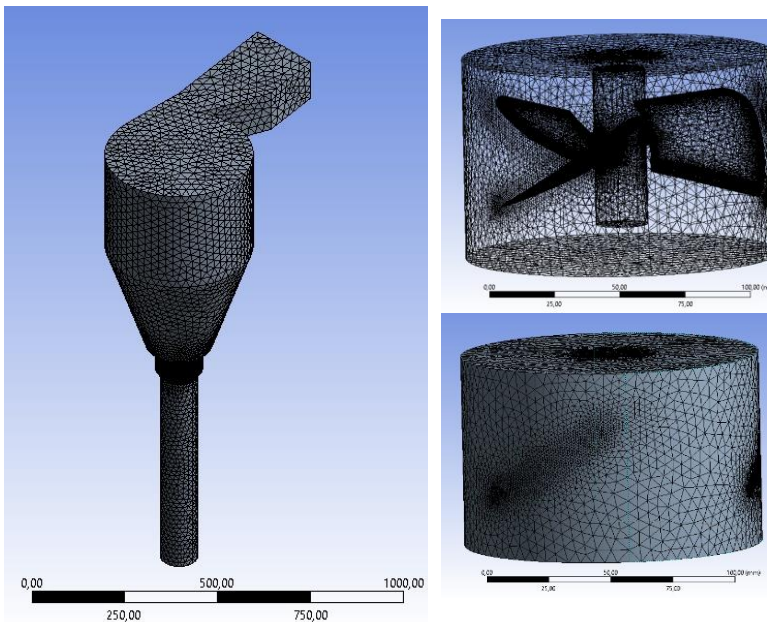
Proses meshing adalah proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit. Semakin baik kualitas mesh maka akan semakin tinggi tingkat konvergensinya.

Langkah awal yang dilakukan yaitu pendefinisian *region* yang akan dijadikan sebagai kondisi batas pada proses *pre processing*. Mesh dari domain ini ditunjukkan pada Gambar 3.16. Jenis elemen yang digunakan dalam kedua domain ini adalah tetrahedral. Setelah itu dilakukan konfigurasi global sizing yaitu menentukan menentukan besar, sudut, *radius*, *expansion* dan lokasi meshing. Tahap selanjutnya yaitu *inflation* yang digunakan untuk memberikan meshing dibagian *free surface* antara fluida dan wall. Bagian yang dilakukan *inflation* yaitu sudu pengarah dan runner turbin. Pengaruh dari inflasi pada bagian *runner* adalah memberikan hasil torsi yang berbeda. Semakin besar ukuran inflasi

maka semakin kecil nilai torsi yang diperoleh. Hal ini digunakan untuk proses validasi mesh untuk mendapatkan selisih *error* terkecil. Untuk memperbaiki kualitas dari *meshing* maka langkah selanjutnya yaitu *edge* dan *face sizing* dibagian bagian yang memiliki nilai *skewness* lebih besar dari 0,9.

Tabel 3.4 Proses *meshing*

Parameter Meshing	Domain <i>stasioner</i>	Domain <i>Rotary</i>
<i>Min size</i>	0,20 mm	0,02 mm
<i>Max size</i>	50,00 mm	5,00 mm
<i>Inflation (first layer)</i>	1 mm	0,005 mm
Kualitas <i>meshing (skewnes)</i>	<i>Max. 0,87</i>	<i>Max. 0,89</i>
Jumlah element	1934393	6117726



(a) Domain *Stasioner*

(b) Domain *rotary*

Gambar 3.16 Meshing Domain

3.6.3 Parameter Simulasi

Dalam simulasi ini digunakan dua macam fluida yaitu air dan udara dengan sifat sifatnya diambil pada temperatur 25°C dan tekanan 1 atm. *Multiphase* ini dimaksudkan karena pusaran air (*air core vortex*) adalah hasil *interface* air dan udara. Selain itu untuk membentuk pusaran air digunakan juga daya apung (*buoyancy*) [21].

Dalam penentuan turbulen yang akan digunakan ada beberapa pertimbangan yang dijadikan referensi. Omar Yaqub et al. [22] menggunakan Model SST untuk mensimulasikan pusaran buatan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan pendekatan fluida multiuler Euler dan melakukan validasi eksperimen dari hasil yang diperoleh. S. R. Shah et al. [23] menyarankan penggunaan Reynolds Averaged Navier Stokes Equations bersama-sama dengan $k-\omega$ SST Turbulence Model daripada RNG $k-\varepsilon$ Model Turbulence, karena $k-\omega$ SST Turbulence Model memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan RNG $k-\varepsilon$ Turbulence Model. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dalam proses simulasi kali ini dilakukan dengan model SST. Untuk inialisasi kecepatan aliran dan putaran poros turbin dihasilkan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan.

Solusi pada studi numerik ini menggunakan *advance scheme high resolution* dengan *turbulence first order*. *Monitoring residual* yang ditentukan adalah $3 \cdot 10^{-4}$. *Monitoring residual* ini adalah tahap penyelesaian masalah berupa proses iterasi hingga mencapai harga konvergen yang diinginkan. Artinya proses iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai nilai di bawah $3 \cdot 10^{-4}$. Jika nilai konvergen tetap tidak tercapai, maka untuk proses validasi dapat dilakukan pengambilan data pada iterasi tertentu dimana memiliki nilai parameter yang hampir sama dengan data operasi aktual

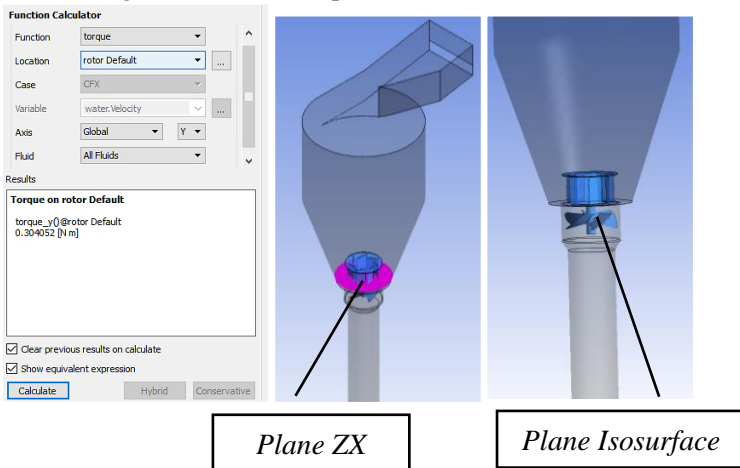
Pada tabel 3.5 ditunjukkan kondisi batas yang diterapkan pada simulasi turbin open flume ini. Kondisi batas merupakan pendekatan dari kondisi benda dan lingkungan pada saat kondisi pengujian eksperimen

Tabel 3.5 Proses setup CFD pada sudu 3 50° dan 25°

Parameter Inisialisasi	Nilai Referensi
Tipe analisis	<i>Steady state</i>
<i>Bouyancy model</i>	<i>Gravity x = 0 m/s</i> <i>Gravity y = -9.8 m/s</i> <i>Gravity z = 0 m/s</i> <i>Bouy. Ref. Density 1.2 kg/m³</i>
<i>Fluid model</i>	
<i>Multiphase</i>	<i>Homogen, non heat transfer</i>
<i>Turbulence</i>	<i>SST</i>
<i>Inisialisasi rotor</i>	Kecepatan (u, v, w) = 0 m/s Tekanan 1 atm (atmosferik) <i>Volume fraction fluid = udara 0 dan air 1</i>
<i>Domain stasioner</i>	
<i>Inlet</i>	Kecepatan air 1,3 m/s (eksperimen)
	<i>Volume fraction fluid = udara 0 dan air 1</i>
<i>Opening</i>	Tekanan atmosfer 1 atm
	<i>Volume fraction fluid = udara 1 dan air 0</i>
<i>Outlet</i>	Tekanan atmosfer 1 atm
	<i>Volume fraction fluid = udara 0 dan air 1</i>
<i>Guide vanes dan tangki</i>	<i>Wall = No slip wall</i> <i>Wall roughness = smooth wall</i>
<i>Domain rotary</i>	
<i>Rotor</i>	<i>Rotatin axis Y</i>
Putaran poros	364 rpm (sesuai eksperimen)
<i>Output Control</i>	
Iterasi	500
<i>Convergence criteria</i>	3.E-04
<i>Monitoring</i>	Daya Poros dan Torsi

3.6.4 Post Processing

Post processing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengambil dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD. Pada penelitian ini diperlukan data torsi dari sudu jalan yang merupakan bagian dari domain *rotary*. Proses pengambilan data torsi pada simulasi menggunakan *function calculator*. Pada bagian ini dipilih jenis *function* yaitu *torque*, lokasi pada rotor dan jenis fluida yaitu *all fluid*. Hasil dari torsi simulasi kemudian akan digunakan sebagai data validasi dengan hasil torsi eksperimen.



Gambar 3.17 Pengamatan dan Pengambilan Data pada Turbin pada Koordinat x, y, dan z

Pada gambar 3.17 pengambilan dan pengamatan data berupa tampilan kontur dan vektor aliran diambil pada penampang vertikal (*plane zx*) untuk memperlihatkan perubahan kecepatan di sekitar *guide vanes* dan data penampang *isosurface* untuk memperlihatkan distribusi tekanan dan *velocity vector* saat air mengenai permukaan sudu jalan turbin.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Turbin *open flume* yang telah dirancang, dibuat, dan dirakit diperlukan proses pengujian untuk mengetahui kinerja turbin *open flume* tersebut. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik turbin *open flume* berupa kurva hubungan daya keluaran (poros), kurva hubungan torsi, dan kurva hubungan putaran poros terhadap variasi sudut *guide vane*, jumlah, dan sudut sudu jalan.

Data yang diambil dari hasil pengujian di lapangan kemudian diolah sehingga dapat dianalisa dalam bentuk grafik. Proses pengambilan data pengujian dilakukan berdasarkan tanpa beban. Pengujian tanpa beban dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal dari daya poros yang dihasilkan oleh turbin *open flume*. Hasil yang didapat dalam pengujian ini berupa data dan kurva hubungan antara putaran poros, torsi, daya poros, dan koefisien daya.

Pada saat pengukuran kecepatan aliran air terukur 1.3 m/s. Nilai tersebut kemudian dijaga konstan dengan mengatur bukaan dari pipa yang masuk ke saluran sistem turbin *open flume*. Sehingga dengan potensi tenaga air yang sama hanya konfigurasi sudu pengarah dan sudu jalan yang berpengaruh terhadap hasil ekstraksi potensi daya air menjadi kinerja turbin *open flume*

Hasil dari penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Pertama, hasil eksperimen yang merupakan hasil dari pengukuran secara langsung untuk mengetahui kecepatan putar poros turbin, torsi dan daya poros turbin *open flume*. Kedua, simulasi numerik yang digunakan untuk mengetahui secara detail distribusi kecepatan aliran fluida yang terjadi di sepanjang sisi inlet, *guide vanes*, dan turbin serta pengaruhnya terhadap kinerja turbin *open flume*. Dari kedua hasil tersebut kemudian akan dilakukan validasi data yang untuk selanjutnya akan dibahas masing masing pengaruh sudut *guide vanes*, sudut sudu turbin, dan jumlah sudu turbin terhadap kecepatan aliran fluidanya.

4.1 Validasi Eksperimen dan Simulasi

Validasi dalam tugas akhir ini dilakukan untuk menyesuaikan data atau hasil simulasi yang dianggap paling mendekati dengan hasil eksperimen. Hasil validasi ini yang akan menjadi landasan untuk dilakukan proses analisa selanjutnya yaitu pengaruh masing masing variasi sudut guide vanes, jumlah sudu, dan sudut sudu.

Proses validasi yang dilakukan yaitu dengan cara memberikan *input* pada simulasi berupa kecepatan aliran pada sisi saluran *inlet* tangki dan kecepatan putar poros turbin yang disesuaikan dengan kecepatan aliran dan putaran poros saat kondisi eksperimen. Pada bagian *boundary condition* dibuat pemodelan geometri yang sama antara simulasi dan eksperimen serta divariasikan bentuk dan nilai spasi meshing nya. Kemudian parameter torsi yang dihasilkan oleh kinerja turbin dijadikan acuan proses validasi simulasi. Berikut adalah perbandingan hasil validasi simulasi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Validasi Sudu 3 50° Sudut Guide Vanes 25°

Mesh sizing	Inflation size	Elemen	Torsi [Nm]			Model
			Eksperimen	Simulasi	Selisih [%]	
0.2 (Coarse)	0.05	5561932	0.2044	0.20606	0.812	K ω
	0.03	6177520	0.2044	0.20973	2.608	
0.02 (Fine)	0.05	6117726	0.2044	0.20099	1.668	
	0.03	6849554	0.2044	0.21084	3.151	
0.2 (Coarse)	0.05	5561932	0.2044	0.21026	2.867	SST
	0.03	6177520	0.2044	0.21765	6.482	
0.02 (Fine)	0.05	6117726	0.2044	0.20556	0.568	
	0.03	6849554	0.2044	0.21857	6.932	

Proses validasi yang dilakukan pada satu konfigurasi yaitu sudut sudu pengarah 25° dengan jumlah sudu 3 dan kemiringan sudut 30°. Berdasarkan validasi yang telah dilakukan ukuran *sizing* berpengaruh dalam menghasilkan nilai torsi. Semakin kecil ukuran *minimum size* nya maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

Untuk pengaruh ukuran inflasi pada sudu yaitu semakin kecil ukurannya maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar. Pengaruh *sizing* tersebut kemudian disesuaikan dan di pilih nilai selisih eksperimen dan simulasi yang terkecil untuk dijadikan acuan validasi.

Selain itu hasil yang diperoleh adanya kesesuaian dengan pertimbangan penentuan model turbulence menurut Omar Yaqub et al. [22] yang menggunakan Model SST untuk mensimulasikan pusaran buatan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan melakukan validasi eksperimen dari hasil yang diperoleh. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka dalam proses simulasi kali ini dilakukan dengan model SST dengan ukuran *min size* 0.02, *inflation size* 0.05 dengan selisih eksperimen dan simulasi yang didapatkan yaitu 0.568 %.

4.2 Data Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi

Pada proses simulasi turbin *open flume* ini yang pertama kali dilakukan yaitu membandingkan torsi yang diperoleh dari hasil eksperimen dan simulasi. Data perbandingan hasil eksperimen dan simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.4.

Tabel 4.2 Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Guide Vane45°

No.	Jumlah Sudu	Sudut [°]	Putaran [rpm]	Torsi [Nm]		
				Eksperimen	Simulasi	Selisih [%]
1	3	30	328	0.1324	0.15133	14.267
2		40	331	0.1586	0.17484	10.243
3		50	342	0.1733	0.18497	6.728
4	4	30	351	0.1570	0.16906	7.709
5		40	366	0.2027	0.23525	16.035
6		50	373	0.2322	0.24521	5.617
7	5	30	370	0.1962	0.21208	8.094
8		40	379	0.2289	0.24759	8.165
9		50	395	0.2485	0.26424	6.325
Rata-rata selisih [%]						9.243

Tabel 4.3 Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Guide Vane35°

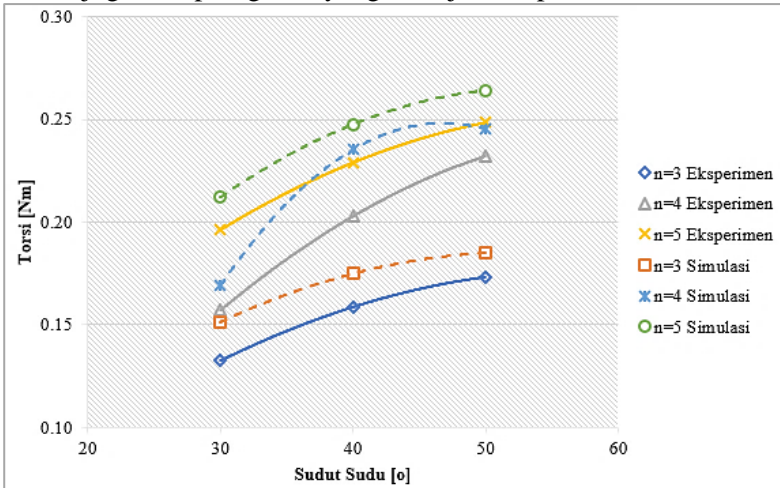
No.	Jumlah Sudu	Sudut [°]	Putaran [rpm]	Torsi [Nm]		
				Eksperimen	Simulasi	Selisih [%]
1	3	30	336	0.1472	0.16601	12.817
2		40	340	0.1700	0.21032	23.689
3		50	356	0.1929	0.20542	6.474
4	4	30	365	0.1913	0.21451	12.136
5		40	385	0.2338	0.24947	6.700
6		50	398	0.2583	0.26539	2.733
7	5	30	386	0.2126	0.24083	13.305
8		40	403	0.2616	0.28742	9.870
9		50	411	0.2878	0.28232	1.890
Rata-rata selisih [%]						9.957

Tabel 4.4 Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Guide Vane25°

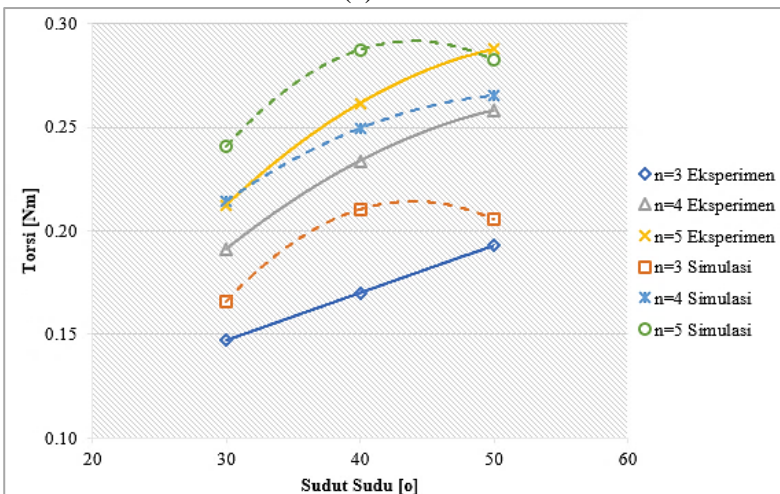
No.	Jumlah Sudu	Sudut [°]	Putaran [rpm]	Torsi [Nm]		
				Eksperimen	Simulasi	Selisih [%]
1	3	30	342	0.1537	0.17162	11.666
2		40	355	0.1717	0.18863	9.876
3		50	364	0.2044	0.20556	0.580
4	4	30	371	0.2354	0.23669	0.531
5		40	389	0.2485	0.25896	4.201
6		50	412	0.2534	0.26206	3.407
7	5	30	396	0.2387	0.25824	8.181
8		40	408	0.2698	0.30028	11.308
9		50	421	0.3205	0.30413	5.096
Rata-rata selisih [%]						6.094

Berdasarkan tabel 4.2 sampai dengan tabel 4.4 diatas terdapat selisih rata-rata yang diperoleh untuk masing masing

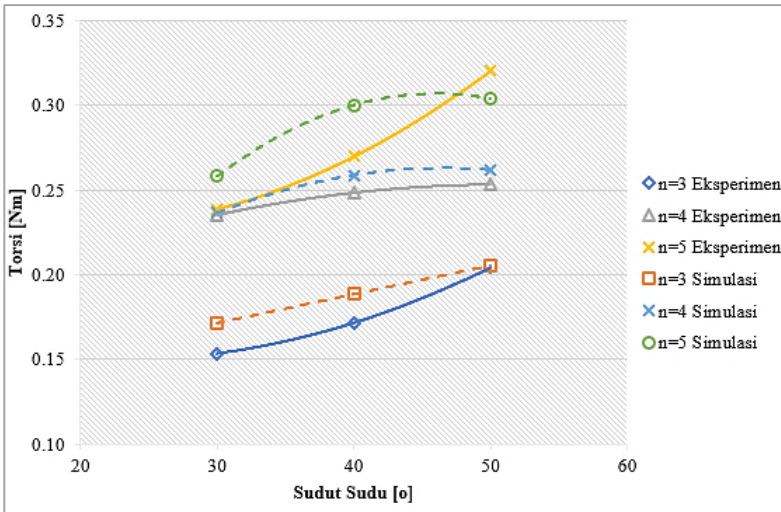
konfigurasi relatif kecil yaitu sebesar 9.243% untuk sudut pengarah 45° , 9.957% untuk sudut pengarah 35° , dan 6.094% untuk sudut pengarah 25° . Selain itu kesesuaian simulasi dan eksperimen dapat dilihat juga dari plot grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1 Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi untuk Sudu Pengarah: (a) 45°, (b) 35°, dan (c) 25°

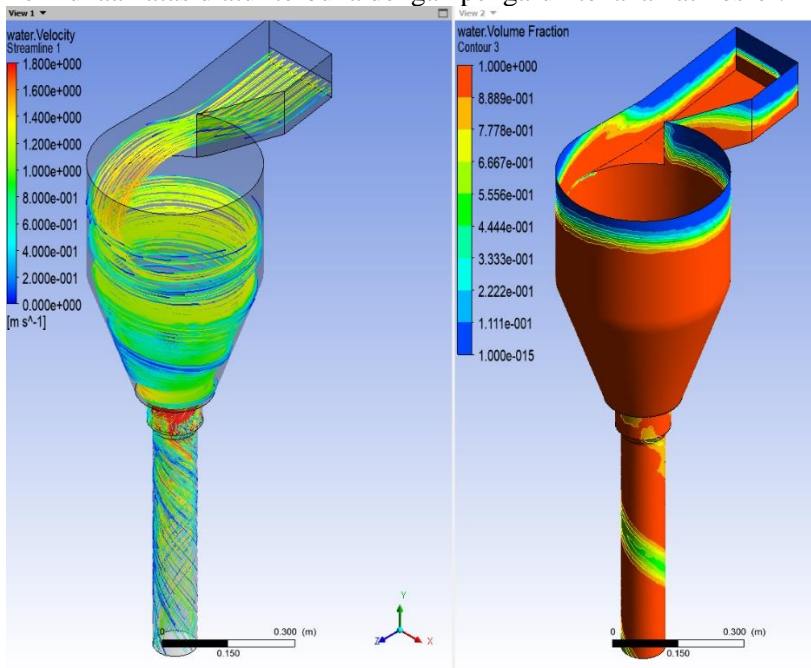
Berdasarkan gambar 4.1 (a) sampai (c) terlihat adanya kesesuaian pola kenaikan torsi dengan pengaruh masing masing variasi baik secara eksperimen maupun simulasi. Perbedaan nilai ditemukan pada metode numerik yang disebabkan model numerik dianggap *steady* sehingga hasil yang di dapat lebih ideal. Dan juga pada metode eksperimen, dimungkinkan terjadinya *losses* sehingga terjadi perbedaan dengan metode numerik.

Selanjutnya data data tersebut kemudian menjadi acuan untuk dilakukannya analisa pengaruh *guide vanes* dan *runner* terhadap nilai putaran poros dan torsi. Selain itu dilakukan analisa juga mengenai perbedaan kontur aliran dan *vector velocity* disepanjang *guide vanes* dan *runner* akibat adanya perubahan konfigurasi *guide vane* dan *runner* tersebut.

4.3 Kontur Pembentukan Aliran Vortex

Simulasi telah dilakukan untuk aliran *steady* untuk menyelidiki kinerja turbin *open flume* sesuai konfigurasi *guide vane* dan *runner* pada distribusi kecepatan vortex. Asumsi utama

termasuk aliran *steady*, tidak ada kondisi slip. Model turbulen SST digunakan untuk menyelidiki pola aliran sistem. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* dijalankan dengan kondisi *no slip* di dinding dan kondisi outlet tekanan atmosfer. Inlet adalah kecepatan awal dengan aliran fluida (air) diatur menjadi 1.3 m/s. Permukaan atas diatur terbuka dengan pengaruh tekanan atmosfer.



Gambar 4.2 Pembentukan vortex pada turbin open flume

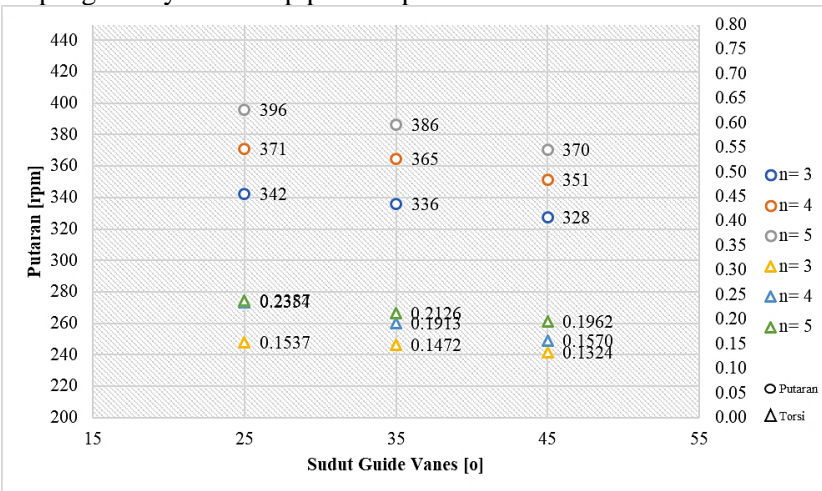
Pada Gambar 4.2 menunjukkan distribusi kecepatan di ruang pusaran vortex. Kontur kecepatan yang diperoleh tampak sesuai dengan plot ini. Pada tangki turbin open flume ini terjadi perubahan kecepatan tangensial saat melewati *rotational tank* yang sebesar 1.3 m/s menjadi 1.6 m/s. Peningkatan kecepatan tangensial pada tangki disebabkan oleh pembentukan pusaran air pada permukaan tangki. Vortex yang terbentuk pada tangki ini sepenuhnya dikembangkan oleh kecepatan air inlet, bentuk tangki serta

perubahan sudut masukan sebelum mengalir ke tangki sehingga membentuk pusaran air yang lebih tinggi.

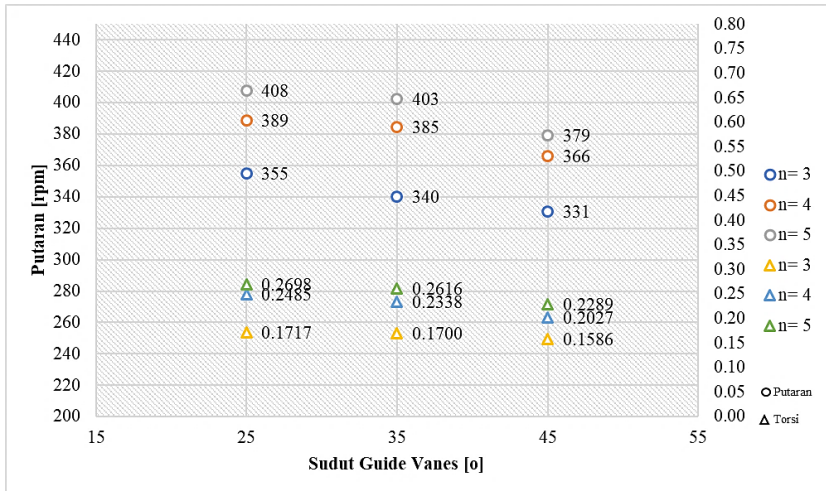
Pada gambar tersebut juga ditunjukkan pemisahan antara udara dan air dalam bentuk fraksi volume udara dan air. Wilayah biru atas menunjukkan udara, sedangkan wilayah merah bawah menunjukkan air yang ada di dalam tangki. Kemudian dengan adanya pembentukan pusaran air ini akan dianalisa pengaruhnya terhadap distribusi kontur aliran, *vertex*, dan *streamline* yang akan terjadi pada sudu pengarah dan sudu jalan untuk masing masing variasi jumlah sudu dan sudut sudunya.

4.4 Analisa Pengaruh Sudut *Guide Vane*

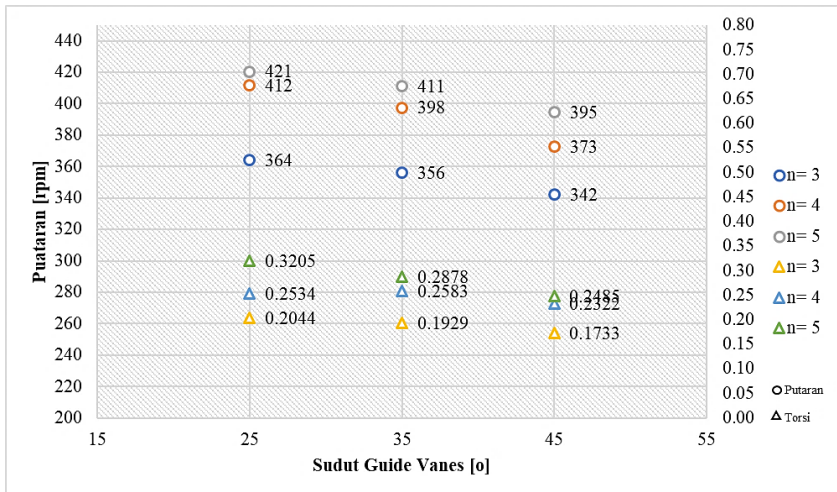
Sudu pengarah merupakan komponen sistem turbin *open flume* yang berfungsi sebagai pengarah utama aliran air yang telah melewati tangki sehingga sudut kecepatan yang dibutuhkan dalam dalam menggerakkan sudu turbin dapat terpenuhi. Pada analisa ini diambil kontur kecepatan air pada bagian sudu pengarah untuk mengetahui pola penyebaran kecepatan air pada saat mengenai sudu pengarah yang telah diatur sudutnya. Gambar 4.3 merupakan grafik hasil pengukuran secara eksperimen untuk mengetahui pengaruhnya terhadap putaran poros dan torsi.



(a)



(b)



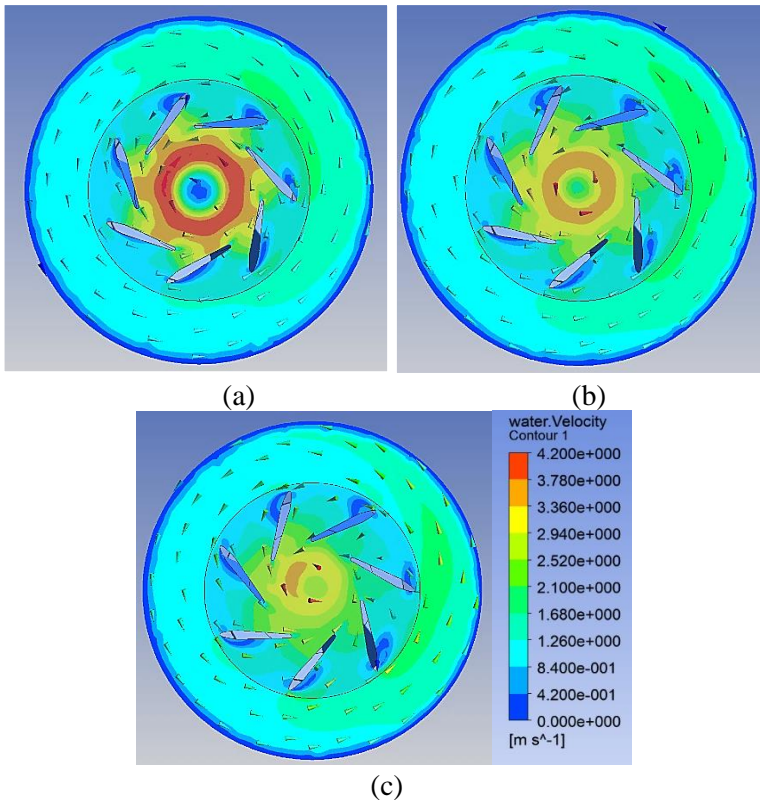
(c)

Gambar 4.3 Pengaruh Sudu Pagar terhadap Kinerja Turbin pada Sudu Sudu Jalan : (a) 30°, (b) 40°, dan (c) 50°

Untuk dapat mengetahui pola hubungan antara sudut kemiringan *guide vane* dengan putaran poros dan torsi maka data dikelompokkan dalam konfigurasi sudut kemiringan sudut jalan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 (a) yang mewakili pengaruh sudut *guide vanes* terhadap putaran poros dan torsi pada kemiringan sudut jalan 30° . Pada gambar 4.3 (a) sampai dengan gambar 4.3(c) dapat dilihat bahwa kemiringan sudut *guide vanes* memiliki tren grafik yang sama, bahwa putaran poros mengalami penurunan pada saat sudut *guide vane* diperbesar. Hal ini berdampak juga pada torsi maksimum yang dihasilkan oleh turbin menjadi turun.

Pada variasi sudut sudu pengarah 25° dengan pengaturan sudut sudu jalan 50° dan jumlah sudu 5 turbin memperoleh putaran tertinggi yaitu 421 rpm, sedangkan pada variasi sudut sudu pengarah 45° dengan pengaturan sudut sudu jalan yang sama turbin menunjukkan putaran poros yang diperoleh rendah yaitu 395 rpm. Pengaruh dari sudut *guide vane* ini ada kaitannya dengan persamaan kontinuitas, dimana pada saat debit yang masuk pada tangki turbin *open flume* dijaga konstan dan ada pengaruh bukaan dari sudut *guide vanes* yang mempengaruhi luasan tempat mengalirnya air maka akan mempengaruhi kecepatan air yang melaluinya. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa bukaan dari sudut *guide vanes* dapat mempengaruhi nilai putaran poros yang dihasilkan. Semakin lebar bukaan *guide vanes* maka putaran poros turbin akan menurun.

Selanjutnya untuk mendukung pengaruh *guide vanes* terhadap kinerja turbin ini maka dilakukan simulasi. Salah satu keunggulan dari simulasi ini yaitu dapat memperlihatkan profil aliran yang tidak dapat dilihat pada saat melakukan eksperimen. Hasil simulasi ini akan menjelaskan penyebab terjadinya perubahan kecepatan aliran air pada saat dilakukannya pengaturan kemiringan sudut *guide vanes*.



Gambar 4.4 Kontur Kecepatan pada Guide Vane untuk Sudut :
(a) 25°, (b) 35°, dan (c) 45°

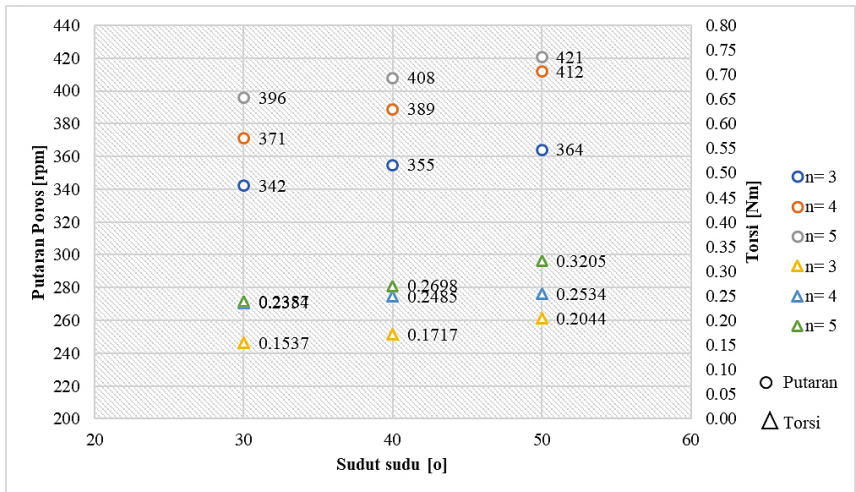
Pengaruh perubahan sudut guide vane dapat terlihat pada Gambar 4.4. Terlihat perbedaan perubahan kecepatan pada masing masing variasi sudut guide vanes. Pada kontur kecepatan air tersebut dapat terlihat daerah pemisahan aliran yang disebabkan oleh bentuk *foil* dari sudu pengarah. Arah aliran air digambarkan dalam bentuk *vector* memiliki kecepatan awal sekitar 2.52 m/s yang diwakili dengan kontur warna hijau muda. Kemudian aliran menumbuk sudu pengarah yang divariasikan sudut sudunya sehingga membentuk distribusi kecepatan aliran yang berbeda. Pada sudut 25° aliran yang menuju *leading edge* sudu disearahkan

dan menumbuk kembali sudu pengarah lainnya sehingga terjadi percepatan di sisi *trailing edge*. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan kontur warna kecepatan di sisi *trailing edge*. Namun berbeda dengan kedua sudut lainnya aliran air disearahkan langsung mengarah ke sisi *outlet* tangki. Dengan semakin kecilnya sudut sudu pengarah semakin besar perubahan kecepatan yang terjadi. Pada sudut *guide vanes* 25° perubahan kecepatan maksimum pada sisi outlet tangki 4.2 m/s. Hal ini ditunjukkan dengan kontur aliran yang berwarna merah yang merata di sisi outlet. Selanjutnya secara berurutan diperoleh kecepatan outlet untuk sudut 35° dan 50° adalah 3.78 m/s dan 3.36 m/s.

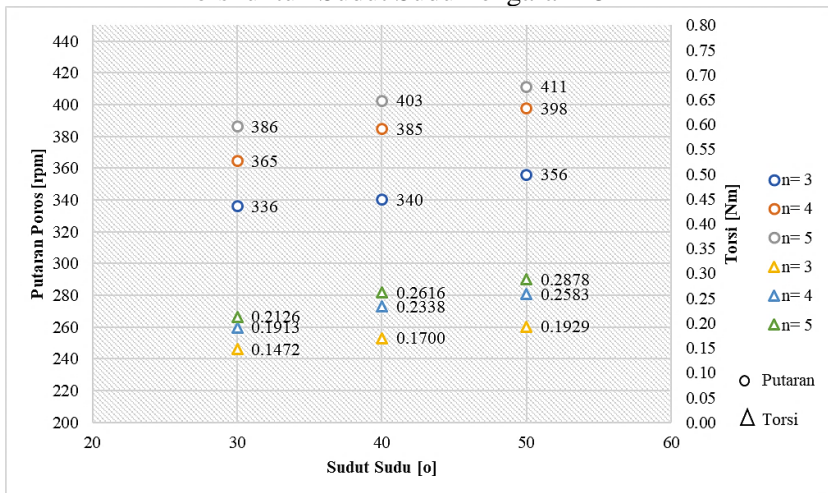
Selanjutnya perubahan sudut sudu *guide vane* ini berdampak pada putaran turbin yang dihasilkan semakin besar. Putaran poros turbin yang semakin besar disebabkan karena pemampatan aliran termaksimalkan sehingga tekanan aliran pada saat mengenai sudu turbin bertambah. Semakin besar tekanan aliran pada sisi inlet turbin maka menimbulkan dorongan yang kuat terhadap sudu turbin sehingga merespon dengan putaran poros yang semakin besar.

4.5 Analisa Pengaruh Sudut Sudu *Runner*

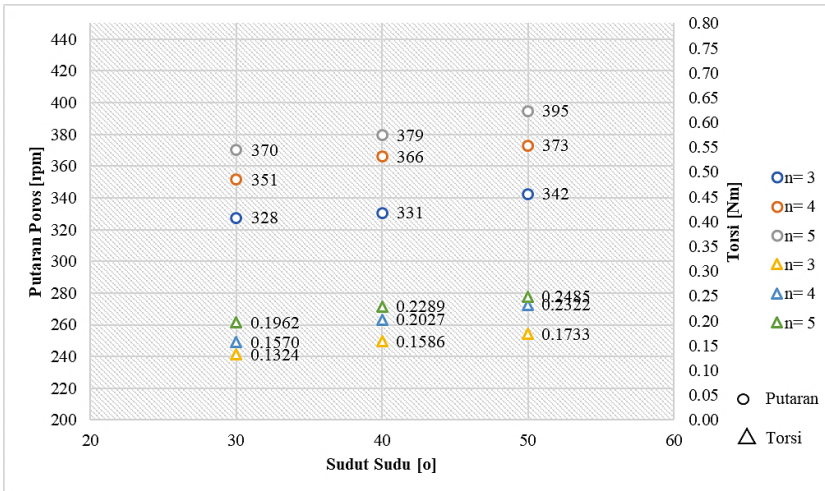
Pada analisa ini akan dibahas mengenai variasi sudut sudu jalan dengan variasi nilai 30° , 40° , dan 50° . Dari data eksperimen pada tabel 4.2 sampai dengan tabel 4.4 kemudian dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh sudut sudu jalan terhadap putaran poros dan torsi yang akan ditunjukkan pada Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.7.



Gambar 4.5 Hubungan Sudut Sudu terhadap Putaran Poros dan Torsi untuk Sudut Sudu Pengarah 25°



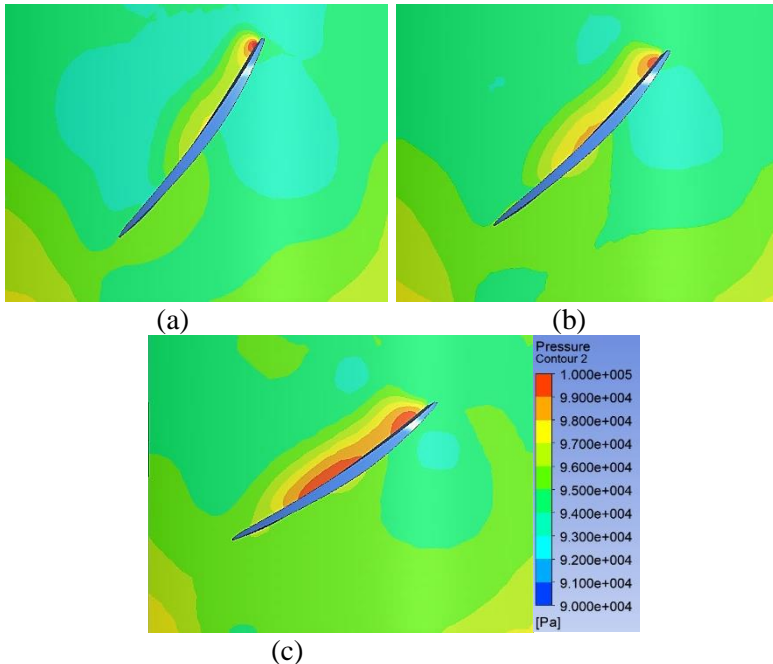
Gambar 4.6 Hubungan Sudut Sudu terhadap Putaran Poros dan Torsi untuk Sudut Sudu Pengarah 35°



Gambar 4.7 Hubungan Sudut Sudu terhadap Putaran Poros dan Torsi untuk Sudut Sudu Pengarah 45°

Bedasarkan grafik hasil pengukuran nilai torsi dan rpm diketahui berubah seiring dengan divariasikannya sudut sudu jalan. Pada variasi sudut sudu jalan nilai putaran poros mengalami peningkatan seiring dengan penambahan sudut sudu. Hal sama juga terjadi pada torsi maksimum yang dihasilkan oleh turbin *open flume* yang meningkat seiring dengan peningkatan putaran akibat berubahnya nilai sudut sudu jalan. Torsi maksimum yang dimaksudkan disini yaitu torsi pada pembebanan maksimum dimana kondisi putaran poros turbin sampai terhenti.

Hasil dari simulasi kemudian akan menampilkan kontur tekanan dan kecepatan aliran untuk mengetahui persebaran tekanan dan pola aliran yang terjadi di daerah sudu turbin. Gambar 4.8 berikut menggambarkan pola persebaran tekanan pada saat air yang telah disearahkan oleh sudu pengarah mengenai sudu jalan dengan kemiringan 30 °, 40 °, dan 50°. Tekanan mengalami kenaikan pada saat air mengenai permukaan *leading edge* sudu.



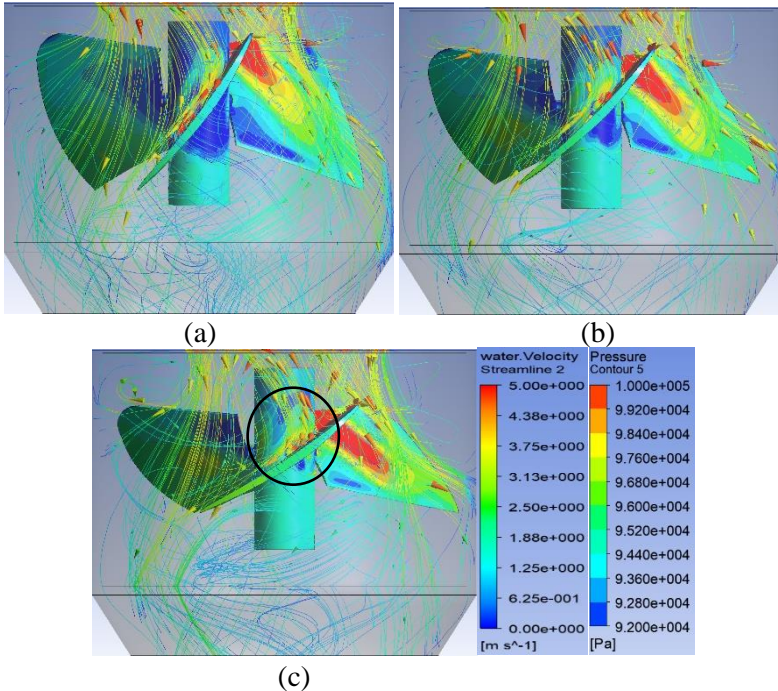
Gambar 4.8 Kontur Tekanan Jumlah Sudu 3 untuk Sudut :
(a) 30° , (b) 40° , dan (c) 50°

Distribusi tekanan pada permukaan sudu memperlihatkan adanya penurunan tekanan secara bertahap dari sisi *leading edge* menuju sisi *trailing edge* yang ditandai dengan penurunan gradasi warna dari merah menuju hijau. Semakin besar tekanan, pola kontur akan cenderung warna merah dan semakin kecil nilai tekanan, pola kontur akan cenderung warna biru. Penurunan tekanan ini disebabkan karena terjadi perpindahan energi dari air kepada sudu jalan turbin. Energi akibat tekanan air berubah menjadi energi gerak sudu jalan turbin. Akibat perpindahan energi tersebut maka nilai tekanan yang dimiliki air menurun. Selain itu terdapat pula perbedaan tekanan diantara permukaan atas sudu dengan permukaan bawah sudu, dimana tekanan permukaan atas sudu memiliki tekanan yang lebih besar dibanding dengan tekanan

sudu sisi bawah. Hal ini menunjukkan arah aliran air yang datang dan daerah aliran yang berkontak dengan permukaan sudu.

Pada gambar 4.8 (a) ditunjukkan kontur distribusi tekanan pada permukaan sudu dengan kemiringan sudut 30° . Besarnya tekanan aliran air pada saat mengenai sudu cenderung kecil dengan didominasi warna pola hijau dengan kisaran $9.6e+04$ Pa. Untuk kemiringan sudut 40° yang terlihat pada gambar 4.9 (b) terjadi peningkatan penyebaran tekanan dibanding dengan sudut 30° dengan penambahan pola kontur warna kuning di area sudu yang memiliki nilai tekanan $9.8e+04$ Pa. Pola penyebaran tekanan di area sudu yang tertinggi terlihat pada kemiringan sudut 50° yang ditunjukkan pada gambar 4.9 (c). Pengaruh tekanan tersebut paling terlihat pada bagian tengah sudu dengan pola kontur merah yang bernilai $10e+04$ Pa. Sehingga dengan semakin besarnya penambahan kemiringan sudut sudu jalan ini maka pengaruhnya yaitu semakin besar pula penyebaran tekanan di permukaan sudu jalan tersebut.

Pengaruh kemiringan sudut sudu jalan juga dilihat pada saat tumbukan antara air dan permukaan sudu jalan turbin yang ditunjukkan dengan *velocity vector*. Pada gambar 4.9 dapat terlihat arah aliran air yang mengenai permukaan sudu jalan turbin. Daerah permukaan sudu turbin yang dikenai air dapat dilihat dari perubahan *velocity vector* yang ditandai dengan adanya perubahan gradasi warna dari warna oranye menjadi kuning setelah mengenai permukaan sudu jalan. Mengacu pada perubahan gradasi warna pada *velocity vector* maka dapat diketahui pada sudut jalan 30° yang ditunjukkan dengan gambar 4.9 (a) memperlihatkan bahwa *streamline* air yang mengenai permukaan sudu tidak merata dan hanya mengenai bagian atas sudu turbin. Hal ini lah yang menyebabkan kontur tekanan tertinggi hanya terletak pada bagian atas sudu. Berbeda dengan kemiringan sudut 50° *velocity vector* air yang mengenai permukaan sudu lebih merata jika dibandingkan dengan sudut 40° dan 30° .



Gambar 4.9 *Velocity Vector* Jumlah Sudu 3 untuk Sudut :
(a) 30°, (b) 40°, dan (c) 50°

Fenomena ini yang mengakibatkan gaya dan torsi yang dihasilkan oleh sudu turbin kemiringan sudut 50° bernilai besar dibanding dengan kemiringan sudut lainnya. Semakin besar tekanan aliran pada sisi permukaan sudu turbin maka menimbulkan dorongan yang kuat terhadap sudu turbin sehingga merespon dengan putaran poros dan torsi yang semakin besar. Besarnya nilai gaya tersebut kemudian dapat dilihat pada lampiran B.

4.6 Analisa Pengaruh Jumlah Sudu *Runner*

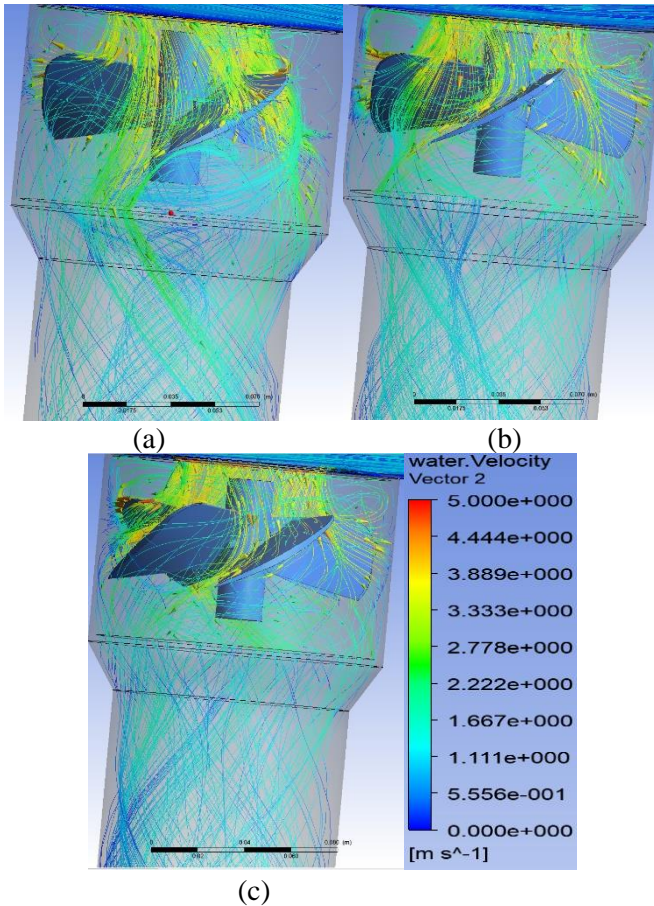
Peningkatan jumlah sudu memiliki pengaruh keseluruhan yang sama dengan peningkatan luas sudu, karena kedua peningkatan ini menyebabkan semakin banyaknya aliran air yang mengenai sudu. Pengaruh dari peningkatan jumlah sudu ini kemudian dinyatakan dalam nilai soliditas turbin. Soliditas ini adalah area efektif turbin yang merupakan rasio antara luas sudu turbin dengan luas penampang bidang putar. Ketiga variasi jumlah sudu dengan nilai 3, 4, dan 5 sudu telah dilakukan uji dengan diameter total bidang putar 120 mm.

Tabel 4.5 Nilai Soliditas Tiap Variasi Jumlah Sudu

Jumlah Sudu	Soliditas Turbin
3	0.56
4	0.74
5	0.93

Semakin banyak sudu dipasangkan pada turbin maka nilai soliditas akan semakin meningkat. Nilai soliditas untuk 3 sudu adalah 0.56, nilai soliditas untuk 4 sudu adalah 0.74, dan nilai soliditas 5 sudu adalah 0.93. Pengaruh dari meningkatnya nilai soliditas ini adalah kemampuan dari turbin untuk mengekstraksi daya yang dihasilkan oleh air.

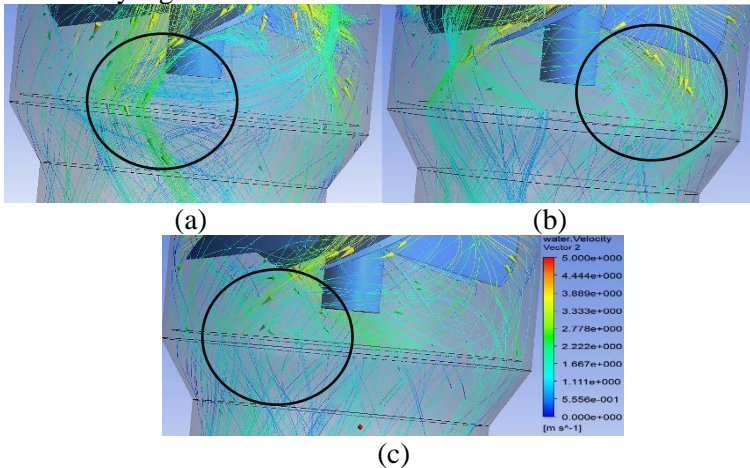
Penyebaran aliran yang mengenai permukaan sudu kemudian dapat dilihat pada Gambar 4.10 yang memperlihatkan terjadinya penurunan kecepatan aliran saat sebelum melewati sudu dan sesudah melewati sudu turbin. Terdapat perbedaan pengaruh penurunan kecepatan seiring dengan divariasikannya jumlah sudu. Penurunan kecepatan aliran yang terjadi setelah melewati sudu turbin ditandai dengan gradasi warna dari hijau menjadi biru. Fenomena ini yang membedakan kemampuan turbin dalam mengekstraksi daya yang dihasilkan oleh air.



Gambar 4.10 *Velocity Vector* pada Kemiringan Sudu 50° untuk Jumlah Sudu : (a) 3, (b) 4, dan (c) 5

Pada gambar 4.11 (c) dengan variasi jumlah sudu 5 terlihat bahwa daerah setelah aliran melewati sudu turbin lebih didominasi dengan gradasi garis *streamline* hijau ke biru dengan kecepatan aliran air 2.7 menjadi 1.6 m/s. Sedangkan pada gambar 4.11 (a) variasi jumlah sudu 3, aliran di belakang sudu masih memiliki kecepatan tinggi yang ditandai dengan masih terlihat adanya gradasi warna kuning ke hijau dengan kecepatan aliran 3.8 m/s dan

menjadi 2.7 m/s. Perbedaan penurunan kecepatan air ini menandakan adanya perbedaan luasan sapuan turbin yang ditandai dengan nilai soliditas turbin menyebabkan seberapa besar kecepatan air yang dikonversikan menjadi putaran poros. Dengan pengaruh soliditas turbin yang semakin besar maka permukaan sudu yang mengalami kontak dengan air semakin besar. Sehingga potensi air yang ditandai dengan kecepatan air sepenuhnya terekstraksi menjadi putaran poros turbin dan membuat kecepatan aliran air yang sesudah melewati sudu akan semakin kecil.



Gambar 4.11 *Velocity Vector* pada Kemiringan Sudu 50° untuk Jumlah Sudu : (a) 3, (b) 4, dan (c) 5

4.7 Analisa Daya Mekanik dan Performansi Turbin

Performa sebuah turbin diwakili oleh sebuah koefisien yang bernama koefisien performansi (C_p), C_p merupakan hasil perhitungan efisiensi dari turbin itu sendiri dimana merupakan rasio antara daya mekanik turbin yang dapat diekstraksi dan daya air sebelum mencapai rotor turbin.

Daya potensi air pada sistem turbin *open flume* adalah potensi energi yang ditimbulkan oleh tekanan air akibat gaya gravitasi bumi. Potensi energi air yang tersedia di alam adalah merupakan energi dalam bentuk energi potensial. Besarnya potensi hidrolik ditentukan oleh besarnya debit air Q dan

ketinggian kemiringan sungai atau head (h). Dengan menggunakan persamaan 2.1 diperoleh daya potensi air untuk kecepatan air 1.3 m/s dan total tinggi tangki sampai draft tube 2 m, maka daya potensi air yang diperoleh 203.84 Watt.

Kemudian nilai daya mekanik dari turbin dapat diketahui dengan adanya data dari turbin yaitu data RPM yang dikonversi menjadi kecepatan sudut (ω) dan Torsi (T). Tabel 4.6 sampai dengan tabel 4.8 merupakan hasil perhitungan daya mekanik turbin dengan variasi sudut sudu dan variasi jumlah sudu.

Tabel 4.6 Performansi Turbin pada Guide Vanes 25°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu [°]	Putaran [rpm]	Torsi [Nm]	Daya [Watt]	Daya air [Watt]	Cp
1	3	30	342	0.1537	5.51	203.84	0.027
2		40	355	0.1717	6.37	203.84	0.031
3		50	364	0.2044	7.79	203.84	0.038
4	4	30	371	0.2354	9.14	203.84	0.045
5		40	389	0.2485	10.11	203.84	0.050
6		50	412	0.2534	10.92	203.84	0.054
7	5	30	396	0.2387	9.89	203.84	0.049
8		40	408	0.2698	11.52	203.84	0.057
9		50	421	0.3205	14.11	203.84	0.069

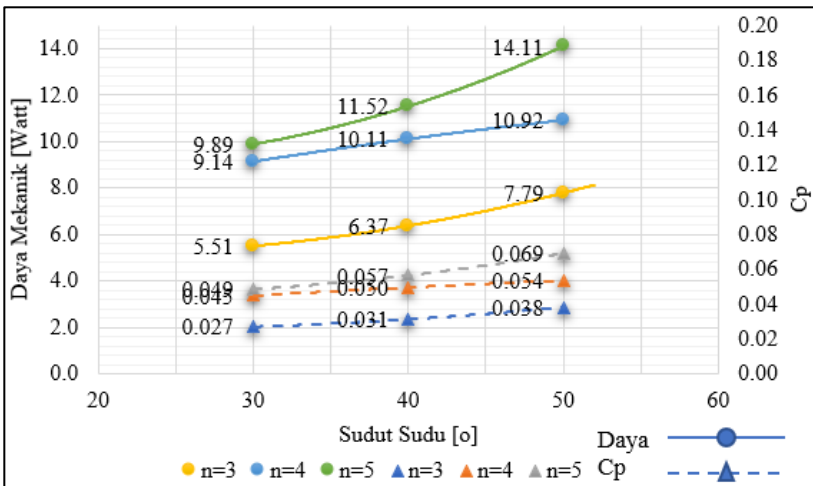
Tabel 4.7 Performansi Turbin pada Guide Vanes 35°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu [°]	Putaran [rpm]	Torsi [Nm]	Daya [Watt]	Daya air [Watt]	Cp
1	3	30	336	0.1472	5.17	203.84	0.025
2		40	340	0.1700	6.05	203.84	0.030
3		50	356	0.1929	7.19	203.84	0.035
4	4	30	365	0.1913	7.30	203.84	0.036
5		40	385	0.2338	9.41	203.84	0.046
6		50	398	0.2583	10.75	203.84	0.053
7	5	30	386	0.2126	8.59	203.84	0.042
8		40	403	0.2616	11.02	203.84	0.054
9		50	411	0.2878	12.39	203.84	0.061

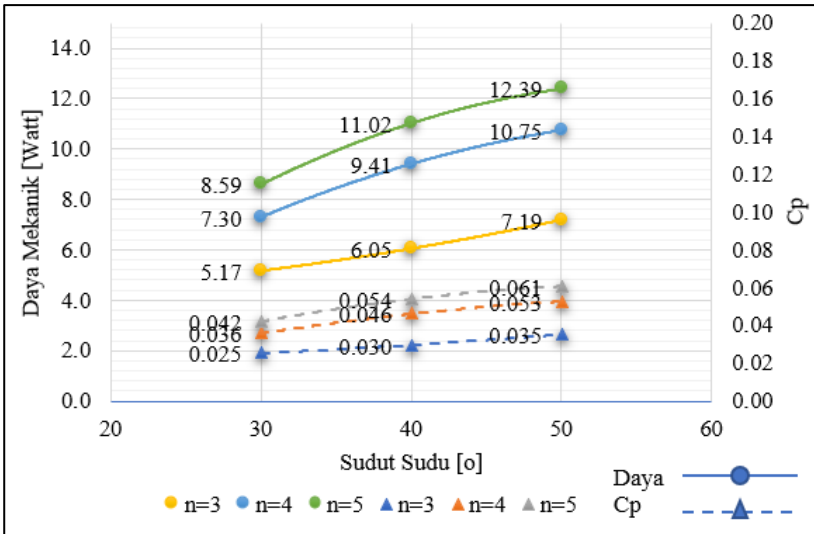
Tabel 4.8 Performansi Turbin pada Guide Vanes 45°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu [°]	Putaran [rpm]	Torsi [Nm]	Daya [Watt]	Daya air [Watt]	Cp
1	3	30	328	0.1324	4.54	203.84	0.022
2		40	331	0.1586	5.49	203.84	0.027
3		50	342	0.1733	6.21	203.84	0.030
4	4	30	351	0.1570	5.77	203.84	0.028
5		40	366	0.2027	7.76	203.84	0.038
6		50	373	0.2322	9.06	203.84	0.044
7	5	30	370	0.1962	7.60	203.84	0.037
8		40	379	0.2289	9.09	203.84	0.045
9		50	395	0.2485	10.27	203.84	0.050

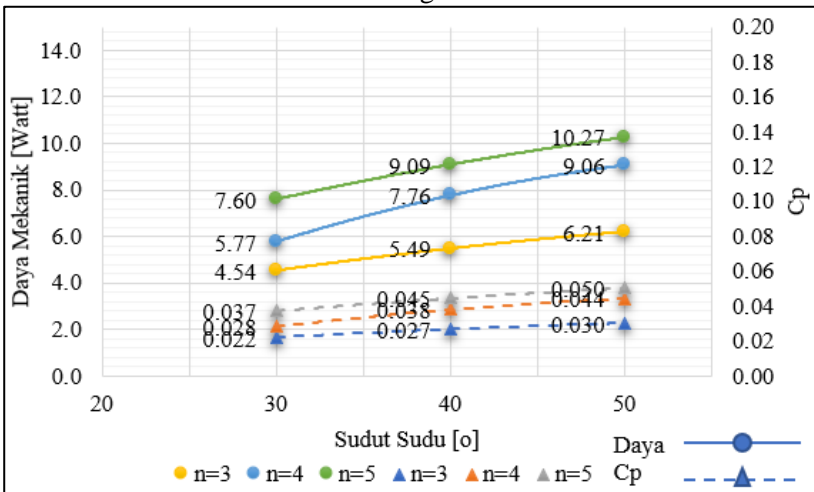
Pada gambar 4.12 sampai dengan 4.14 ditampilkan grafik Cp pada setiap variasi sudut *guide vanes*, jumlah sudu, dan sudut sudu jalan untuk menunjukkan performansi masing konfigurasi pada turbin *open flume*.



Gambar 4.12 Pengaruh Sudut Sudu terhadap Daya Mekanik dan CP untuk Sudu Pengarah 25°



Gambar 4.13 Pengaruh Sudut Sudu terhadap Daya Mekanik dan Cp untuk Sudu Pengarah 35°



Gambar 4.14 Pengaruh Sudut Sudu terhadap Daya Mekanik dan Cp untuk Sudu Pengarah 45°

Berdasarkan gambar 4.12 sampai dengan gambar 4.14 terlihat bahwa pada pengaturan sudut *guide vanes*, grafik C_p memperlihatkan tren kenaikan yang sama, namun nilai C_p terbesar terletak pada konfigurasi sudut *guide vane* 25° . Adapun pengaruh dari jumlah sudu yaitu dengan semakin banyaknya jumlah sudu yang berjumlah 5 maka akan menaikkan nilai C_p dari turbin *open flume*. Untuk pengaruh dari sudut sudu jalan yaitu seiring dengan kemiringan sudut sudu jalan nilai C_p juga terlihat semakin besar. C_p tertinggi terletak pada konfigurasi sudut *guide vane* 25° , jumlah sudu 5, dan sudut sudu jalan 50° .

4.8 Diskusi

Berdasarkan hasil eksperimen dan simulasi yang telah dilakukan, dari ketiga konfigurasi mengenai sudut *guide vane* dan *runner* nilai torsi paling optimal didapatkan pada sudut *guide vane* 25° , jumlah sudu 5, dan kemiringan sudut sudu 50° . Pada konfigurasi ini *guide vane* memberikan pengaruh perubahan kecepatan awal air untuk mengenai sudu yang tinggi karena adanya pemampatan luasan pada sisi *trailing edge* sudu *guide vanes* seiring dengan semakin kecil sudut sudu *guide vane* yang diatur. Hal ini ada kaitannya dengan persamaan kontinuitas, dimana pada saat debit yang masuk pada tangki turbin *open flume* dijaga konstan dan ada pengaruh bukaan dari sudut *guide vanes* yang mempengaruhi luasan tempat mengalirnya air maka akan mempengaruhi kecepatan air yang melaluinya. Pada konfigurasi *runner*, kemiringan sudut sudu memberikan pengaruh tekanan aliran pada sisi permukaan sudu turbin yang semakin besar saat mengenai sudu dan menimbulkan dorongan yang kuat terhadap sudu turbin sehingga merespon dengan putaran poros dan torsi yang semakin besar. Hal yang sama juga dengan jumlah sudu yang berkaitan dengan soliditas suatu turbin yang merupakan perbandingan rasio antara luasan sapuan turbin air terhadap luasan sudu. Dengan adanya kemiringan dan banyaknya jumlah sudu membuat terjadinya kontak antara permukaan sudu dengan air paling luas. Semakin besar luas sapuan, akan semakin besar pula torsi yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan teori bahwa besarnya nilai gaya yang terjadi pada sudu berbanding lurus dengan nilai

luas permukaan (dalam hal ini yaitu luasan sudu turbin). Kemudian peningkatan nilai torsi berbanding lurus dengan gaya yang terjadi pada sudu, karena torsi merupakan perkalian nilai gaya dengan lengan gaya (dalam hal ini jari-jari sudu turbin).

Selanjutnya untuk mendukung hasil eksperimen dilakukan simulasi untuk meninjau kontur tekanan dan penyebaran aliran kecepatan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui distribusi tekanan dan pola kecepatan aliran yang terjadi di sekitar *guide vanes* dan sudu turbin yang menjadi penyebab diperolehnya nilai torsi yang telah dibahas sebelumnya. Apabila melihat dari kontur tekanan pada Gambar 4.8 bahwa tekanan besar terjadi pada permukaan sisi atas sudu dibanding dengan permukaan bawah sudu. Selain itu distribusi tekanan pada permukaan atas sudu memperlihatkan adanya penurunan tekanan secara bertahap dari sisi *leading edge* menuju sisi *trailing edge* yang ditandai dengan penurunan gradasi warna dari merah menuju hijau. Hal ini menunjukkan arah aliran air yang datang dan daerah aliran yang berkontak dengan permukaan sudu. Peningkatan tekanan pada permukaan atas sudu diikuti dengan adanya penurunan kecepatan aliran saat mengenai permukaan sudu turbin. Hal ini sesuai dengan hukum bernoulli, dimana nilai tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan.

Selanjutnya untuk mengetahui nilai performansi dari turbin *open flume* ini, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai C_p . Nilai C_p merupakan bilangan non dimensional yang menyatakan kemampuan turbin dalam menghasilkan energi yang didapat dari ekstraksi daya air. Berdasarkan hasil eksperimen nilai C_p tertinggi sebesar 0,069 atau dalam bentuk efisiensi 6.9 %. Nilai tersebut diperoleh pada konfigurasi *guide vane* 25°, jumlah sudu 5, dan kemiringan sudut sudu 50°.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan simulasi yang telah dianalisa dan dibahas, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengaruh sudut *guide vanes* dapat meningkatkan aliran air pada sisi *outlet guide vanes*. Kecepatan awal sebelum mengenai *guide vanes* yaitu 2.52 m/s dan dengan adanya perubahan sudut *guide vane* pada 25°, 35° dan 50° kecepatan sisi *outlet* secara berurutan menjadi 4.2 m/s, 3.78 m/s dan 3.36 m/s. Hal ini menyebabkan peningkatan daya yang tertinggi pada *guide vanes* 25° sebesar 14.11 Watt untuk sudu jalan 5 sudut 50°.
- b. Telah terjadi peningkatan performansi turbin *open flume* seiring perubahan sudut sudu jalan. Pada konfigurasi *guide vanes* 25°, dan jumlah sudu 5 nilai torsi yang diperoleh pada kemiringan 30°, 40°, dan 50° secara berurutan adalah 0.2387 Nm, 0.2698 Nm, dan 0.3205 Nm, dengan peningkatan daya yang dibangkitkan sebesar 9.89 Watt, 11,52 Watt, dan 14.11 Watt.
- c. Peningkatan jumlah sudu menyebabkan meningkatnya soliditas turbin sehingga meningkatkan juga performansi turbin *open flume*. Pada konfigurasi *guide vanes* 25°, sudut sudu jalan 50°, diperoleh torsi secara berurutan untuk jumlah sudu 3, 4, dan 5 adalah 0.2044 Nm, 0.2534 Nm, dan 0.3205 Nm, dengan besar daya yang dibangkitkan sebesar 7.79 Watt, 10.92 Watt, dan 14.11 Watt.

5.2 Saran

Berikut ini adalah saran yang diberikan peneliti oleh untuk keberlanjutan penelitian yang dilakukan :

- a. Perlu dilakukannya perancangan pembuatan sudu turbin dengan material *fiberglass* agar memiliki momen gaya yang lebih besar sehingga bisa dilakukan pengujian berbeban dan meningkatkan *coefficient of performance* dari turbin *open flume*.
- b. Diperlukan mekanisme perubahan *pitch* pada sudu jalan agar memudahkan dalam konfigurasi sudut sudu jalan.
- c. Perlu dilakukan eksperimen dan simulasi dengan kondisi batas debit dan kecepatan aliran yang bervariasi agar diketahui kurva karakteristik dari turbin

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Dhakal *et al.*, “Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 48. pp. 662–669, 2015.
- [2] Sukardi, “Pembangkit Listrik Mikrohidro Tingkatkan Perekonomian Rakyat,” 30 Mei 2018. [Online]. Tersedia: <https://indonesiadevelopmentforum.com/2018/blog/4452-pembangkit-listrik-mikrohidro-tingkatkan-perekonomian-indonesia>. [Diakses: 09-Oct-2018].
- [3] O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, A. H. Elbatran, and H. M. Shabara, “A review on micro hydro gravitational vortex power and turbine systems,” *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, vol. 69, no. 7. pp. 1–7, 2014.
- [4] S. Mulligan and P. Hull, “Design and Optimisation of a Water Vortex Hydropower Plant,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 6, p. 62330, 2010.
- [5] Y. Nishi and T. Inagaki, “Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine,” *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2017, 2017.
- [6] P. Singh and F. Nestmann, “Experimental optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application,” *Exp. Thermal. Fluid Sci.*, vol. 33, no. 6, pp. 991–1002, 2009.
- [7] P. Singh and F. Nestmann, “Experimental investigation of the influence of blade height and blade number on the performance of low head axial flow turbines,” *Renew. Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 272–281, 2011.
- [8] S. R. S, R. C. K, and J. B. S, “Effect of Outlet Diameter on the Performance of Gravitational Vortex Turbine With Conical Basin,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 7, no. 4, pp. 457–463, 2016.
- [9] R. Dhakal *et al.*, “Computational and experimental investigation of runner for gravitational water vortex power plant,” *2017 6th Int. Conf. Renew. Energy Res. Appl.*

- ICRERA 2017*, vol. 2017-January, no. December, pp. 365–373, 2017.
- [10] A. Arismunandar and S. Kuwahara, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I Pembangkitan dengan Tenaga Air*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [11] S. Sandy Asmara, “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Di Aliran Sungai Sekitar Bangunmulyo, Girikerto, Turi, Sleman,” Yogyakarta, 2016.
- [12] E. P. Tarigan, “Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Berdiameter 32 cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu dan Saluran Keluar,” Medan, 2014.
- [13] A. P. Harsarapama, “Turbin Mikrohidro Open Flume dengan Hub to Tip Ratio 0,4 untuk Daerah Terpencil,” *Tek. Mesin*, vol. Starata Sa, 2012.
- [14] S. L. Dixon, *Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery seventh edition fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery*, 7th ed. Elsevier Inc, 2014.
- [15] P. D. A. N. S. Sudu-sudu and H. S. D. Meter, “Oleh : Tohom Daniel Lumbantobing,” 2010.
- [16] A. Muis, P. Sutikno, A. Soewono, and F. Hartono, “Design optimization of axial hydraulic turbine for very low head application,” *Energy Procedia*, vol. 68. pp. 263–273, 2015.
- [17] A. Momin, N. Dave, P. Patel, and K. Panchal, “Design and Development of Kaplan Turbine,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 8, pp. 16519–16528, 2017.
- [18] F. Tuakia, *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika, 2008.
- [19] S. Wanchat, R. Suntivarakorn, S. Wanchat, K. Tonmit, and P. Kayanyiem, “A Parametric Study of a Gravitation Vortex Power Plant,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 805–806, pp. 811–817, 2013.
- [20] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Bandung: Alfabeta, 2006.
- [21] N. H. Khan, “Blade Optimization of Gravitational Water

- Vortex Turbine,” Ghulam Ishaq Khan Institute Of Engineering Sciences And Technology, 2016.
- [22] H. M. Shabara, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, A. H. Elbatran, and M. S. M. Faddir, “CFD validation for efficient gravitational vortex pool system,” *J. Teknol.*, vol. 74, no. 5, pp. 97–100, 2015.
- [23] S. R. Shah, S. V. Jain, R. N. Patel, and V. J. Lakhera, “CFD for centrifugal pumps: A review of the state-of-the-art,” *Procedia Eng.*, vol. 51, pp. 715–720, 2013.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A
(Data Uji Eksperimen)

Tabel A.1 Pengujian pada kondisi pengaturan sudu pengarah 25°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu	Putaran [rpm]				Pengukuran Torsi						Kecepatan inlet [m/s]
			10s	20s	30s	Σ	Massa [kg]				r [m]	Torsi [Nm]	
							10s	20s	30s	Σ			
1	3	30	338.5	342.3	345.9	342	0.3	0.32	0.32	0.313	0.05	0.1537	1.3
2		40	348.1	356.1	360.1	355	0.34	0.36	0.35	0.350	0.05	0.1717	1.3
3		50	360.1	365.2	367.2	364	0.42	0.41	0.42	0.417	0.05	0.2044	1.3
4	4	30	378.1	362.2	372.4	371	0.46	0.48	0.5	0.480	0.05	0.2354	1.3
5		40	389.4	381.3	395.5	389	0.52	0.48	0.52	0.507	0.05	0.2485	1.3
6		50	397.8	419.1	418.6	412	0.5	0.52	0.53	0.517	0.05	0.2534	1.3
7	5	30	393.9	404.2	389.1	396	0.48	0.50	0.48	0.487	0.05	0.2387	1.3
8		40	404.2	403.4	416.2	408	0.58	0.52	0.55	0.550	0.05	0.2698	1.3
9		50	416.3	424.2	421.2	421	0.68	0.64	0.64	0.653	0.05	0.3205	1.3

Tabel A.2 Pengujian pada kondisi pengaturan sudut pengarah 35°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu	Putaran [rpm]				Pengukuran Torsi						Kecepatan inlet [m/s]
							Massa [kg]				r [m]	Torsi [Nm]	
			10s	20s	30s	Σ	10s	20s	30s	Σ			
1	3	30	339.6	336	332.4	336	0.32	0.28	0.3	0.300	0.05	0.1472	1.3
2		40	344.2	337.2	339.1	340	0.34	0.34	0.36	0.347	0.05	0.1700	1.3
3		50	359.2	359.3	349.6	356	0.38	0.42	0.38	0.393	0.05	0.1929	1.3
4	4	30	339.3	375.5	379.1	365	0.38	0.41	0.38	0.390	0.05	0.1913	1.3
5		40	389.3	385.5	379.1	385	0.45	0.5	0.48	0.477	0.05	0.2338	1.3
6		50	398.7	399.1	394.9	398	0.54	0.52	0.52	0.527	0.05	0.2583	1.3
7	5	30	389.2	384.4	385.4	386	0.44	0.44	0.42	0.433	0.05	0.2126	1.3
8		40	414.1	391.5	402.3	403	0.52	0.52	0.56	0.533	0.05	0.2616	1.3
9		50	418.3	404.7	411.2	411	0.58	0.6	0.58	0.587	0.05	0.2878	1.3

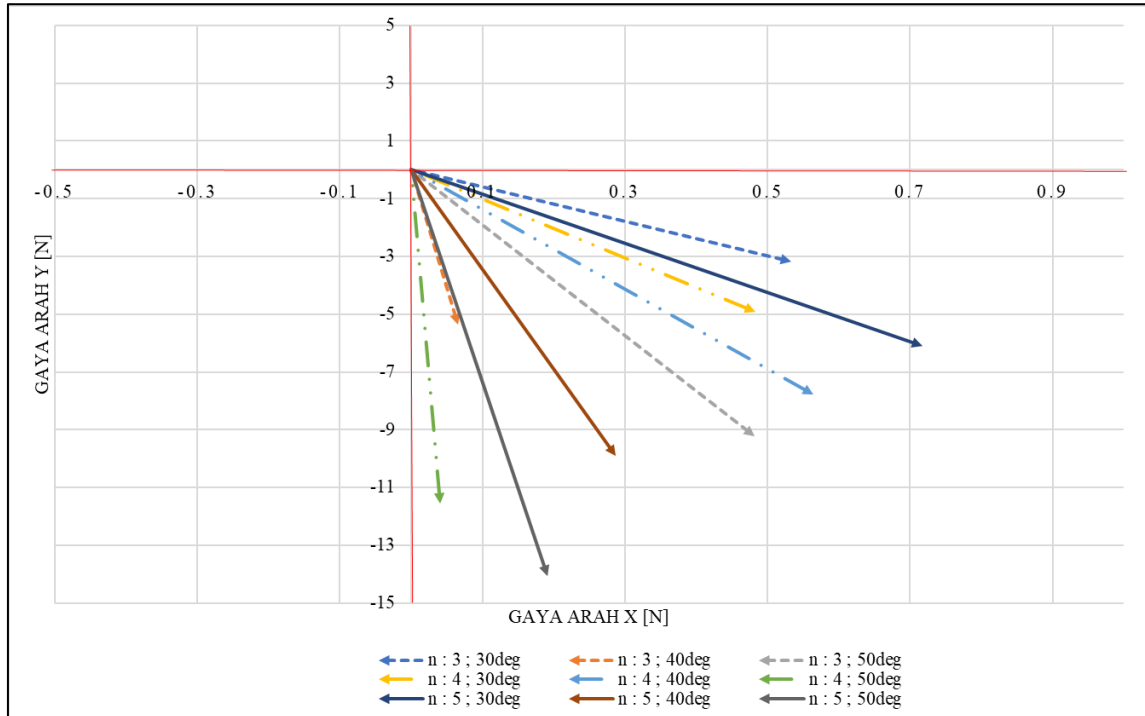
Tabel A.3 Pengujian pada kondisi sudut pengarah 45°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu	Putaran [rpm]				Pengukuran Torsi						Kecepatan inlet [m/s]
							Massa [kg]				r [m]	Torsi [Nm]	
			10s	20s	30s	Σ	10s	20s	30s	Σ			
1	3	30	324.5	328.6	329.5	328	0.25	0.28	0.28	0.270	0.05	0.1324	1.3
2		40	321.8	334.6	335.2	331	0.33	0.32	0.32	0.323	0.05	0.1586	1.3
3		50	343.9	341.5	341.7	342	0.36	0.34	0.36	0.353	0.05	0.1733	1.3
4	4	30	348.8	349.3	356.1	351	0.32	0.32	0.32	0.320	0.05	0.1570	1.3
5		40	361.1	371.3	365.3	366	0.42	0.42	0.4	0.413	0.05	0.2027	1.3
6		50	361.9	377.2	379.8	373	0.48	0.46	0.48	0.473	0.05	0.2322	1.3
7	5	30	369.2	394	347.4	370	0.4	0.4	0.4	0.400	0.05	0.1962	1.3
8		40	380.7	379.1	378.5	379	0.46	0.46	0.48	0.467	0.05	0.2289	1.3
9		50	389.9	397.6	396.9	395	0.52	0.48	0.52	0.507	0.05	0.2485	1.3

LAMPIRAN B
(Data Simulasi Hasil Gaya pada Sudu)

Tabel B.1 Pola Perubahan Gaya Hasil Resultan Gaya Sumbu X dan Y untuk Guide Vanes 25°

No.	Jumlah Sudu	Sudut Sudu	Gaya (N)		
			Fx	Fy	Resultan
1	3	30°	0.533	-3.187	3.231
2		40°	0.066	-5.349	5.350
3		50°	0.482	-9.217	9.230
4	4	30°	0.483	-4.921	4.945
5		40°	0.564	-7.791	7.811
6		50°	0.040	-11.564	11.564
7	5	30°	0.718	-6.088	6.130
8		40°	0.287	-9.890	9.894
9		50°	0.191	-14.058	14.059



Gambar B.2 Besar dan Arah Resultan Gaya pada Sudu Turbin

LAMPIRAN C
(Dokumentasi Kegiatan)



Pemasangan Pipa Alir dari Sungai ke Sistem Turbin



Pengaturan Sudut Guide Vanes



Sudu Jalan yang Telah Terpasang



Terbentuknya Aliran Vortex

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Ciamis pada 16 Mei 1994. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 2 Panumbangan (2001 – 2007), SMP Negeri 1 Panumbangan (2007 – 2010), SMA Negeri 2 Tasikmalaya (2010 – 2013), D3 Teknik Konversi Energi di Politeknik Negeri Bandung (2013-2017), dan pendidikan S1 di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengambil bidang minat rekayasa energi dan pengkondisian lingkungan. Pada 3 Agustus – 3 September 2015 penulis melakukan program *internship* di Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd pada bagian departemen operasional sehingga mengambil topik mengenai “Proses *Start up Main Cooling Water System* di Star Energy (Wayang Windu) Ltd”. Selain itu pada saat menempuh pendidikan S1 pada 2 Juli – 2 Agustus 2018 penulis kembali melakukan program *internship* di Direktorat Metrologi Bandung pada bagian Lab Balai UTTP dengan mengambil topik “Pengukuran Volume Aliran Gas Turbin Meter Dan Sistem Konversi Satuan Energinya Di Direktorat Metrologi Bandung”. Saat menempuh pendidikan D3 penulis mengambil topik tugas akhir mengenai “Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Sumbu Horizontal sebagai Penggerak Mula Pompa Torak”. Penulis dapat dihubung melalui email: permanariky14@gmail.com