

**PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU DAN *TWIST ANGLE* TERHADAP  
PERFORMA TURBIN HELIKS DENGAN *AIRFOIL* NACA 0030  
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*  
(CFD)**

(Skripsi)

Oleh:

**FATHUR RIFAI**

**1615021031**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2022**

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF VARIATION NUMBER OF BLADE AND *TWIST ANGLE* OF PERFORMANCE HELICAL TURBINE WITH NACA AIRFOIL 0030 USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC METHOD (CFD)**

**By:**

**FATHUR RIFAI**

Hydrokinetic energy is one of the potential renewable energy that is easy to be found, the examples include irrigation canals, streams and sea waves. In addition to being environmentally friendly, water current energy also has a fairly large kinetic energy intensity. Utilization of the potential of water currents to generate electricity can be done using a helical turbine. The helical turbine is a modified form of the Darrieus turbine, to overcome the weakness of the Darrieus turbine, the blades of the helical turbine are made curved with a certain angle of inclination. This study aims to determine the performance of the helical turbine using the CFD method. This research was conducted by simulating the addition of the *blades* and *twist angle* on a helical turbine. The variations used for the sum of the blades are 2, 3 and 4 while the twist angle variations are 60°, 90° and 120°.

The simulation results shows that the addition of the *blades* and *twist angle* has a positive effect on the performance of the helical turbine, an increase in the torque value is obtained. The addition of the blades and the twist angle will result in a higher mass/load of the turbine when rotating or what is called the moment of inertia, resulting in greater force and increased torque. Simulation results using variation of the blades obtained the best performance when the sum of blades is 4 where the resulting  $C_p$  is 0.287. For twist angle variations tests, the best performance was obtained at an angle of 120° with the resulting  $C_p$  value of 0.312.

**Keywords:** Helical turbine, CFD, Number of blades, Twist angle

## ABSTRAK

### **PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU DAN *TWIST ANGLE* TERHADAP PERFORMA TURBIN HELIKS DENGAN *AIRFOIL* NACA 0030 MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)**

Oleh:

**FATHUR RIFAI**

Energi arus air (*Hydrokinetic energy*) merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang mudah ditemukan seperti saluran irigasi, aliran sungai dan gelombang laut. Selain ramah lingkungan energi arus air juga memiliki intensitas energi kinetik yang cukup besar. Pemanfaatan potensi arus air untuk menghasilkan listrik dapat dilakukan menggunakan turbin heliks. Turbin heliks merupakan bentuk modifikasi dari turbin darrieus, untuk mengatasi kelemahan turbin darrieus sudu pada turbin heliks dibuat berbentuk melengkung dengan kemiringan sudut tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja turbin heliks menggunakan metode CFD. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap penambahan jumlah sudu dan *twist angle* pada turbin heliks. Variasi jumlah sudu adalah 2, 3 dan 4 sudu sedangkan variasi *twist angle* sebesar  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  dan  $120^\circ$ .

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu dan *twist angle* berpengaruh positif terhadap performa turbin heliks, terjadi peningkatan nilai torsi yang diperoleh. Penambahan jumlah sudu dan *twist angle* akan mengakibatkan massa/beban turbin saat berputar semakin tinggi atau yang disebut dengan momen inersia sehingga menghasilkan gaya lebih besar dan torsi meningkat. Hasil simulasi dengan menggunakan variasi jumlah sudu diperoleh performa terbaik pada jumlah sudu 4 dimana  $C_p$  yang dihasilkan sebesar 0,287. Pada pengujian dengan variasi *twist angle* didapat performa terbaik pada sudut  $120^\circ$  dengan nilai  $C_p$  yang dihasilkan sebesar 0,312.

Kata kunci: Turbin heliks, CFD, Jumlah sudu, *Twist angle*

**PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU DAN *TWIST ANGLE*  
TERHADAP PERFORMA TURBIN HELIKS DENGAN  
*AIRFOIL* NACA 0030 MENGGUNAKAN METODE  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)***

**Oleh  
FATHUR RIFAI**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

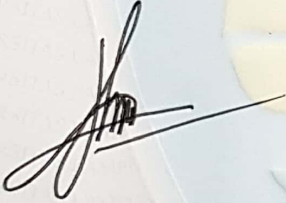
Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU DAN  
TWIST ANGLE TERHADAP PERFORMA  
TURBIN HELIKS DENGAN AIRFOIL NACA  
0030 MENGGUNAKAN METODE  
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)**

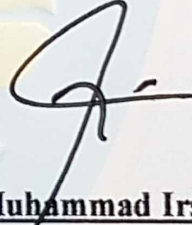
Nama Mahasiswa : **Fathur Rifai**  
Nomor Pokok Mahasiswa : **1615021031**  
Program Studi : **Teknik Mesin**  
Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing 1

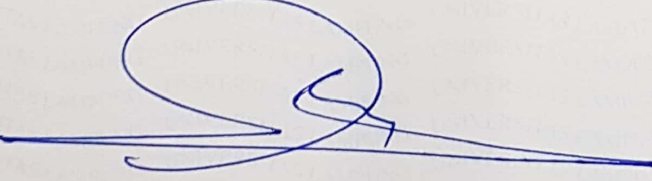
Komisi Pembimbing 2

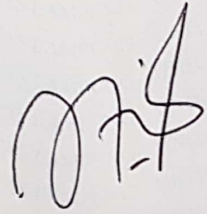
  
**Agus Sugiri, S.T., M.Eng**  
NIP. 197008041998031003

  
**Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T**  
NIP. 197112142000121001

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1  
Teknik Mesin

  
**Dr. Amrul, S.T., M.T**  
NIP. 19710331 199903 1 003

  
**Novri Tanti, S.T., M.T**  
NIP. 19701104 199703 2 001




**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua Penguji : Agus Sugiri, S.T., M.Eng.**



**Anggota Penguji : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**



**Penguji Utama : M. Dyan Susula ES, S.T., M.Eng.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 19750928 200112 1 002**


**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Februari 2022**

## PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PENGATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN  
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



  
FATHUR RIFAI  
NPM. 1615021031

## RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Fathur Rifai dilahirkan di Pringsewu pada tanggal 11 November 1998. Penulis merupakan anak ke-2 dari pasangan Bapak Imam Khambali dan Ibu Masfufah. Penulis tinggal di Jalan Lintas Suoh Dusun Way kuol, Pekon Kegeringan, Kecamatan Batubrak, Kabupaten Lampung Barat. Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 3 Tritunggal mulya (2004-2010), MTs Nurul Hidayah Roworejo (2010-2013), SMA Negeri 1 Liwa (2013-2016). Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi BEM-Universitas Lampung menjabat sebagai anggota aksi dan propaganda pada periode 2017- 2018. Mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Kepala Bidang Kerohanian periode 2018-2019. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan pada bulan Juli-Agustus 2019, dengan topik yang dibahas yaitu Analisis kerusakan *impact idler* pada BWE 204 dan pada tahun 2020 awal Penulis juga melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Sidomulyo, Kecamatan Sumberejo Kabupaten Tanggamus. Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir dengan Judul “Pengaruh Variasi Jumlah Sudu dan *Twist Angel* Terhadap Performa Turbin Heliks dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD)” di bawah bimbingan Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng. dan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. serta sebagai Pembahas Bapak M. Dyan Susila ES. S.T., M.Eng.





## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:*

**Kedua Orang Tua Serta Keluarga Yang Terkasih**

**Dan**

**Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik Dan Membimbing  
Penulis**

**“Jazakumullah Khairan”**

## SANWACANA

Puji syukur khadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta para pengikutnya. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang pemanfaatan energi terbarukan. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah dan rezeki kepada penulis serta Rasulullah Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan dalam hidup.
2. Kedua orang tua penulis, Imam Khambali dan Masfufah yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingganya penulis dapat tetap bersemangat dan lancar dalam menjalankan studi Teknik Mesin.
3. Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Prof. Drs. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta Staff dan jajarannya.
5. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Ibu Novri Tanti, S.T.,M.T sebagai Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.

7. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng, sebagai Dosen Pembimbing satu yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan serta ilmu-ilmu baru dalam menyelesaikan skripsi
8. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T, sebagai Dosen Pembimbing dua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Bapak M. Dyan Susila ES. S.T., M.Eng, sebagai Dosen Pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini
10. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah memberikan pendidikan, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan.
11. Thomas Habibi dan Hanif selaku kakak dan adik penulis.
12. Sobat Ansys kun Abdurrahman Firmansyah, S.T, Rizal Khairudin, S.T, Angelia Eka Salsabila, S.T, Joko Prastyo, Randa Admiral, Panji Firmanul Hakim, S.T, Ardi Rahardia, S.T. yang telah memberikan semangat masukan dan bantuan dalam penyelesaian skripsi
13. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah bersama-sama berjuang dalam dunia keteknikan yang selalu memberikan kehangatan dan kenyamanan di dunia perkuliahan. Serta mendukung penulis untuk bersemangat dalam menyelesaikan skripsi sampai selesai.
14. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, Desember 2021  
Penulis,

**Fathur Rifai**  
**NPM. 1615021031**

## ***Motto***

### ***Sabar dan percayalah***

*Apa yang kau perjuangkan hari ini tidak akan luput dari qadarullah, proseslah yang mengajarkan banyak hal, sedangkan hasil itu sudah ditetapkan oleh yang maha pengatur*

*Yang harus kamu tau dalam hidup ini, bahwasanya Allah takkan pernah salah dalam memilih. Berada di zona ini adalah takdir. Namun jalan mana yang kamu lewati itu pilihan*

*Never give up, because beautiful things can be born from misery*



## DAFTAR ISI

Halaman

**COVER**

**ABSTRAK**

**PENGESAHAN**

**PERNYATAAN PENULIS**

**RIWAYAT HIDUP**

**SANWACANA**

**Motto**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR TABEL**

<b>I.</b>	<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
	<b>A. Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
	<b>B. Tujuan Penelitian.....</b>	<b>5</b>
	<b>C. Batasan Masalah .....</b>	<b>5</b>
	<b>D. Sistematika Penulisan.....</b>	<b>6</b>
<b>II.</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
	<b>A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).....</b>	<b>8</b>
	1. Pengertian PLTMH.....	8
	2. Keuntungan PLTMH .....	9
	3. Konversi Energi pada sisitem PLTMH.....	10

<b>B. Turbin Air</b> .....	11
1. Turbin Impuls .....	11
2. Turbin Reaksi.....	15
<b>C. Parameter Rancangan Turbin Heliks</b> .....	20
1. Soliditas dan Tip Speed Ratio.....	20
2. Profil dan Dimensi Turbin .....	21
<b>D. Unjuk Kerja PLTMH</b> .....	23
1. Torsi.....	23
2. Daya .....	23
3. <i>Coeffisient of Power</i> .....	25
4. Efisiensi .....	25
<b>E. Airfoil</b> .....	26
<b>F. Aliran Fluida</b> .....	29
1. Aliran laminar .....	30
2. Aliran turbulen.....	30
3. Aliran transisi.....	30
<b>G. <i>Computing Fluid Dynamic (CFD)</i></b> .....	31
1. <i>Pre-processing</i> .....	32
2. <i>Solving</i> .....	33
3. <i>Post-processing</i> .....	33
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	34
<b>A. Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	34
1. Tempat Penelitian .....	34
2. Waktu Penelitian.....	34
<b>B. Parameter Penelitian</b> .....	35
1. Data Eksperimen.....	35

2. Validasi Simulasi .....	35
3. Simulasi Unjuk Kerja.....	36
<b>C. Alat dan Bahan.....</b>	<b>36</b>
1. Komputer .....	36
2. <i>Software</i> .....	37
<b>D. Langkah-Langkah Pengujian .....</b>	<b>37</b>
1. Pemodelan Geometri.....	37
2. Proses Simulasi .....	39
3. Melakukan Post Processing .....	47
<b>E. Data Hasil Pengujian .....</b>	<b>47</b>
<b>F. Diagram Alir.....</b>	<b>48</b>
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
<b>A. Validasi Data .....</b>	<b>49</b>
<b>B. Hasil Penelitian.....</b>	<b>51</b>
1. Simulasi dengan Memvariasikan Jumlah Sudu .....	51
2. Simulasi Dengan Variasi <i>Twist Angle</i> .....	61
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>74</b>
<b>A. Kesimpulan.....</b>	<b>74</b>
<b>B. Saran .....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Peningkatan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat di suatu daerah akan sejalan dengan peningkatan kebutuhan akan energi. Keadaan tersebut mendorong manusia untuk terus melakukan eksplorasi dalam hal energi. Adanya keterbatasan sumber daya energi fosil yang tersedia menuntut kita untuk berpikir serta bertindak cepat dalam mengembangkan dan menggunakan sumber energi terbarukan. Selain itu energi fosil juga tidak ramah lingkungan karena pembakarannya menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Salah satu potensi energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah energi arus air (*hydrokinetic energy*). Energi arus air dapat dengan mudah ditemukan seperti pada arus sungai, saluran irigasi dan arus laut. Selain ramah lingkungan energi arus air juga memiliki intensitas energi kinetik yang besar jika dibandingkan dengan energi angin, hal ini dikarenakan densitas air 830 kali lipat densitas udara sehingga dengan kapasitas yang sama turbin air akan jauh lebih kecil dari segi dimensi dibandingkan turbin angin (Andrianto, 2009).

Di Indonesia telah banyak dikembangkan pembangkit listrik menggunakan energi air sebagai penggerak turbin, namun kebanyakan turbin tersebut memanfaatkan tinggi jatuh air (*head*) yang besar. Untuk itu diperlukan pengembangan turbin air yang mampu beroperasi walaupun tidak memiliki ketinggian jatuh, sehingga dapat diperoleh energi listrik hanya dengan memanfaatkan energi kinetik aliran air. Dengan begitu potensi aliran air yang tidak memiliki *head* dapat benar-benar dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

Pemanfaatan potensi arus air untuk menghasilkan listrik dapat dilakukan menggunakan turbin heliks. Turbin heliks adalah turbin yang bekerja tanpa memerlukan ketinggian jatuh air, sehingga turbin heliks ini dapat digunakan pada aliran sungai, saluran irigasi ataupun gelombang air laut yang saat ini belum banyak dikembangkan. Energi ini dinilai memiliki potensi cukup besar sebagai sumber energi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Upaya pengembangan turbin air telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin yang terbaik. Terdapat dua faktor utama yang mempengaruhi kinerja turbin heliks yaitu, pertama faktor eksternal yang berupa massa jenis fluida ( $\rho$ ) dan kecepatan fluida ( $V$ ). Kedua faktor internal yang merupakan geometri dari turbin berupa tinggi turbin ( $H$ ), panjang *chord* ( $c$ ), kecepatan sudut yang dihasilkan ( $\omega$ ), *twist angle* ( $\delta$ ), *pitch angle* ( $\psi$ ) dan jumlah sudu. Jumlah sudu dapat mempengaruhi putaran turbin dan *twist angle* berpengaruh



terhadap performa turbin yang menentukan daya dan efisiensi dari turbin. Dengan menambah jumlah sudu dan memodelkan *twist angle* diasumsikan akan meningkatkan performa turbin dengan begitu daya dan efisiensi pun akan meningkat.

Beberapa penelitian mengenai turbin heliks salah satunya oleh Sitepu, A.W. (2014) melakukan penelitian yang berjudul “Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Heliks Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” pengujian yang dilakukan yaitu membandingkan tiga bentuk profil sudu yaitu NACA 0021, 0025 dan 0030. Dari hasil pengujian diketahui bahwa sudu NACA 0030 merupakan bentuk sudu yang terbaik dalam menghasilkan daya listrik dan memiliki efisiensi maksimum paling tinggi, mendekati nilai efisiensi maksimum dari pengujian oleh *US Department of Energy and the National Science Foundation*.

Pietersz (2013) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa jumlah sudu mempengaruhi kinerja turbin kinetik. Dari pengujian yang dilakukan yaitu membandingkan daya yang dihasilkan dari pengujian turbin dengan jumlah sudu 5, 7, 9 dan 11. Pada debit air  $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$  jumlah sudu 11 menghasilkan kinerja terbaik dengan daya sebesar 20,41 Watt pada putaran 100 rpm, efisiensi diperoleh sebesar 71,42%. Torsi maksimum yang dihasilkan turbin dengan 11 sudu terjadi pada putaran 20 rpm sebesar 3,73 Nm.

Kurniawan (2014) melakukan peneliti untuk mengetahui pengaruh *twist angle*  $60^\circ$  dan  $120^\circ$  pada turbin helical gorlov. Dari hasil pengujian dan Analisa numerik turbin heliks dengan profil NACA 0020 diperoleh nilai torsi tertinggi yaitu pada turbin dengan *twist angle*  $120^\circ$  sebesar 0,756 Nm untuk pengujian dan untuk Analisa numerik sebesar 1,359 Nm. Nilai  $C_p$  yang diperoleh juga menunjukkan bahwa turbin dengan *twist angle*  $120^\circ$  menghaislkan nilai lebih besar yaitu 31% sedangkan *twist angle*  $60^\circ$  menghasilkan nilai  $C_p$  sebesar 27,5% berdasarkan hasil simulasi.

Hasil dari berbagai eksperimen telah banyak digunakan untuk merancang berbagai tipe sudu turbin. Namun pengujian secara eksperimen diperlukan seperangkat peralatan dan membutuhkan biaya yang cukup mahal. Dengan bantuan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD) diharapkan mampu mempermudah dalam menganalisis dan merancang turbin air yang lebih baik dan lebih murah dari segi biaya perancangan. Perancangan menggunakan *software* CFD merupakan tolak ukur sebagai perkiraan dalam merancang dan membuat bentuk sudu turbin yang sebenarnya (Castillo, 2011).

Penelitian yang akan dilakukan adalah proses pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan simulasi CFD menggunakan *Ansys Fluent* desain turbin heliks model tiga dimensi (3D) menggunakan airfoil dari *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) 0030 dengan memvariasikan jumlah sudu serta *twist angle* turbin.

Pengembangan yang dilakukan diharapkan diperoleh performa unjuk kerja yang paling optimum dari turbin heliks.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin heliks.
2. Untuk Mengetahui pengaruh penggunaan variasi *twist angle* terhadap unjuk kerja turbin heliks.

## **C. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

1. Profil *airofoil* yang digunakan pada turbin heliks adalah tipe NACA 0030
2. Simulasi dilakukan secara numerik dengan bantuan *software Computational Fluid Dynamic* dimana pembentukan geometri dilakukan dengan bantuan *Solidworks* dan analisis fluidanya dengan menggunakan *Fluent Ansys Workbench*.
3. Variasi jumlah sudu yang digunakan adalah 2, 3 dan 4 sudu.
4. Variasi *twist angle* yang digunakan adalah 60°, 90° dan 120°.
5. Dimensi turbin yang digunakan yaitu tinggi 0,3 m dan radius 0,09 m.
6. Dimensi saluran yang digunakan yaitu 1,5 x 1 x 1 m.

7. Dimensi interior/domain rotary yang digunakan yaitu tinggi 0,038 m, radius 0,1 m berbentuk silinder.
8. Dalam simulasi kerugian gesek poros dan bantalan diabaikan.
9. Tidak menganalisis kekuatan material turbin.
10. Dalam tugas akhir ini tidak dibahas proses perancangan dari turbin heliks.

#### **D. Sistematika Penulisan**

##### **I. PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan mengenai latar belakang dibentuk penelitian, kemudian terdapat tujuan sertata batasan masalah dan sistematika penulisan.

##### **II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan mengenai teori-teori pendukung penelitian.

##### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan tentang parameter uji, tempat dan waktu penelitian, prosedur pengujian dan diagram alir penelitian.

##### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan tentang data pengamatan hasil uji dan eksperimen hasil simulasi perangkat lunak *CFD Ansys R2.1* dan melakukan analisa hasil pengamatan.

##### **V. SIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diberikan untuk penelitian yang akan datang.

**DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan tentang rujukan atau referensi untuk memperkuat dan mendukung penelitian yang dilakukan.

**LAMPIRAN**

Berisikan tentang data-data tambahan yang mendukung penelitian.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

#### 1. Pengertian PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi aliran air (hidro) skala kecil seperti saluran irigasi, sungai kecil atau air terjun dengan kapasitas pembangkitan sangat kecil (mikro) yaitu kurang dari 5 kW. Mikro hidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin yang berguna untuk merubah gerak translasi dari air menjadi gerak rotasi dan generator yang berguna mengkonversikan energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik.

PLTMH merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Dari segi lingkungan hidup, teknologi ini memiliki dampak positif dalam penghematan energi dan menjaga kelestarian lingkungan hidup karena mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang berdampak negatif pada polusi udara, hujan asam, dan efek rumah kaca. Dari sudut pandang kepentingan lingkungan, pembangunan PLTMH dapat menjadi perekat hubungan positif antara

alam dan masyarakat dalam meningkatkan kesadaran masyarakat agar secara swadaya dan mandiri bersedia menjaga dan melestarikan lingkungan.

Aliran sungai yang layak untuk dijadikan sebagai sumber energi penggerak pada mikro hidro adalah aliran sungai yang mengalir sepanjang tahun (*perennial stream*), dimana debit musim kemarau dan musim penghujan yang relatif stabil atau tidak fluktuatif dengan aliran sungai yang tidak terlalu besar namun mempunyai kemiringan (*gradient*) sungai yang layak sebagai lokasi pembangunan mikrohidro. Dalam pembangunan PLTMH, karakter utama aliran sungai yang paling berpengaruh adalah debit aliran (liter/detik) dan kemiringan sungai (*gradient*). Mikrohidro adalah pembangkit listrik yang paling sederhana yang mengandalkan kontinuitas ketersediaan air dan beda ketinggian. Beda tinggi dibuat dengan membuat saluran dari titik pengambilan (*intake*) menyusuri tebing/pinggiran sungai menuju titik tertentu yang menghasilkan beda ketinggian yang dikehendaki.

## 2. Keuntungan PLTMH

Keuntungan dari penggunaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) sebagai berikut:

- a. Biaya pembuatan relatif murah dan sumber energi yang dibutuhkan tersedia di alam karena berasal dari energi terbarukan.
- b. Turbin–turbin pada PLTMH dapat dioperasikan dengan mudah

- c. Dengan perawatan yang baik, turbin dapat beroperasi dalam waktu yang cukup lama.
- d. Sumber energi yang digunakan adalah energi air sehingga tidak mengakibatkan pencemaran udara dan air.

### 3. Konversi Energi pada sistem PLTMH

Sistem konversi energi yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah dengan mengubah energi potensial dan energi kinetik pada aliran air menjadi energi mekanik kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Daya yang dapat dihasilkan oleh suatu pembangkit mikrohidro sangat dipengaruhi oleh ketinggian (*head*) dan debit aliran air. Dalam proses sistem PLTMH tidak semua potensi energi aliran air dapat dikonversi menghasilkan energi listrik, namun terdapat energi yang hilang dalam setiap bagian prosesnya, seperti akibat gesekan, pemanasan maupun efisiensi alat yang digunakan. Adapun persamaan umum untuk menghitung potensi energi yang terdapat di aliran air adalah dengan Persamaan 1 berikut (Ewen, 2012):

$$E = m g h \quad (1)$$

Dimana  $m$  merupakan massa air (kg),  $g$  merupakan percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),  $h$  merupakan *head* atau ketinggian (m). Karena massa air ( $m$ ) merupakan hasil kali massa jenis air ( $\rho$ ) dengan volume air ( $v$ ), sehingga Persamaan 2 menjadi (Ewen, 2012):

$$E = \rho v g h \quad (2)$$

Daya ( $P$ ) dari energi potensial persatuan waktu ( $E/t$ ) dan debit ( $Q$ ) ialah besarnya volume persatuan waktu ( $V/t$ ), sehingga Persamaan 3 dapat dinyatakan sebagai berikut (Ewen, 2012):

$$P = \rho Q g h \quad (3)$$

Dimana  $\rho$  merupakan massa jenis air,  $g$  merupakan percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),  $h$  merupakan *head* atau ketinggian (m) dan  $V$  merupakan kecepatan aliran air (m/s).

## **B. Turbin Air**

Turbin air adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Dilihat dari segi pengubahan momentum fluida kerjanya turbin air dibedakan atas dua golongan utama yaitu:

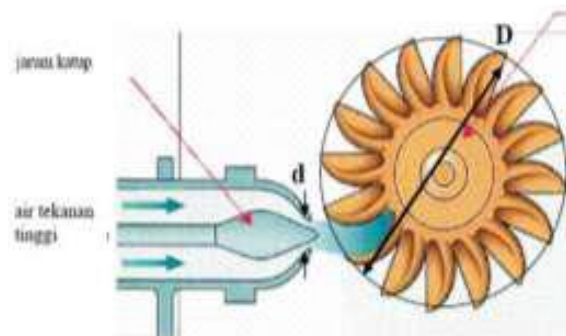
### **1. Turbin Impuls**

Turbin Impuls merupakan turbin air yang memiliki tekanan sama pada setiap sudu gerakanya (*runner*). Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya rotor

turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi, tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin Impuls adalah turbin *Pelton*, turbin turgo dan turbin *crossflow*.

a. Turbin *Pelton*

Turbin *pelton* terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin *pelton* adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin *pelton* adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi.



Gambar 2.1 Turbin *Pelton* (Rahmanta, 2011).

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris seperti mangkuk. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai titik tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa



nosel. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan sudu lebih kecil. Semburan air dari nosel akan menumbuk sudu ditengah-tengahnya dan sesuai dengan perimbangan tempatnya, air pancar tersebut akan belok ke dua arah supaya ada kemungkinan membaliknya air bisa diarahkan tegak lurus, untuk itu penampung sudu sebelah luar harus ditinjau. Supaya mendapatkan efisiensi yang baik turbin *pelton* harus mempunyai hubungan antara kecepatan tangensial dan kecepatan pancaran air. Kecepatan pancaran dan kecepatan tangensial turbin *pelton* mempunyai arah yang sama untuk aliran masuk. Dengan adanya *head* yang telah ditentukan mengakibatkan adanya pancaran air yang menggerakkan roda turbin *pelton* dengan kecepatan tangensial. Kerena tinggi jatuh sudah pasti tidak dapat dirubah lagi, maka dalam penyelesaian turbin selanjutnya ada dua alternatif pilihan yaitu kecepatan putar roda dan jumlah *nosel*.

b. Turbin *Turgo*

Turbin *turgo* dapat beroperasi pada *head* 30 m sampai 300 m. Seperti turbin *pelton*, turbin *turgo* merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nosel* membentur sudu pada sudut  $20^\circ$ . Kecepatan putar turbin *turgo* lebih besar dari turbin *pelton*, hal ini memungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Turbin *turgo* merupakan jenis turbin yang sesuai untuk menggantikan turbin *pelton* nosel ganda (*multinozzel*) dengan head rendah, maupun

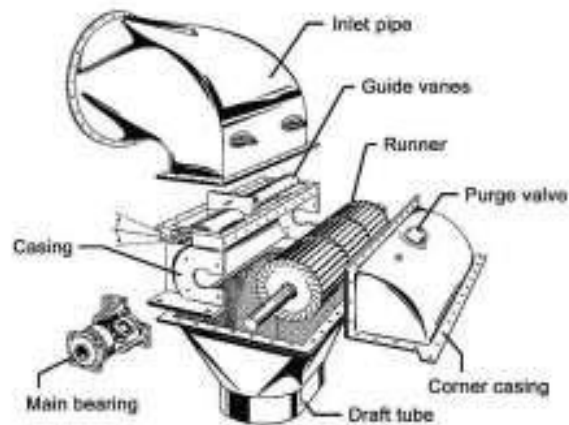
turbin *Francis* dengan *head* tinggi. Turbin *turgo* dapat bekerja pada *head* menengah 15 meter sampai 30 meter.



Gambar 2.2 Sudu turbin turgo (Bono, 2019).

c. Turbin *Crossflow*

Salah satu jenis turbin Impuls ini juga dikenal dengan nama turbin *Michell-Banki* yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *crossflow*. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m<sup>3</sup>/s dengan ketinggian jatuh air antara 1 m sampai 200 m, dimana kecepatan putarannya antara 60 rpm sampai dengan 200 rpm menyesuaikan diameter pully yang digunakan. Pada turbin *crossflow* terdapat alat pengarah air sehingga celah bebas dengan sudu-sudu disekeliling *runner* hanya sedikit. Turbin jenis ini sangat cocok digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air yang kecil dengan daya yang diperoleh kurang lebih 750 kW



Gambar 2.3 Turbin *crossflow* (Bachtiar, 2009).

Turbin *crossflow* menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

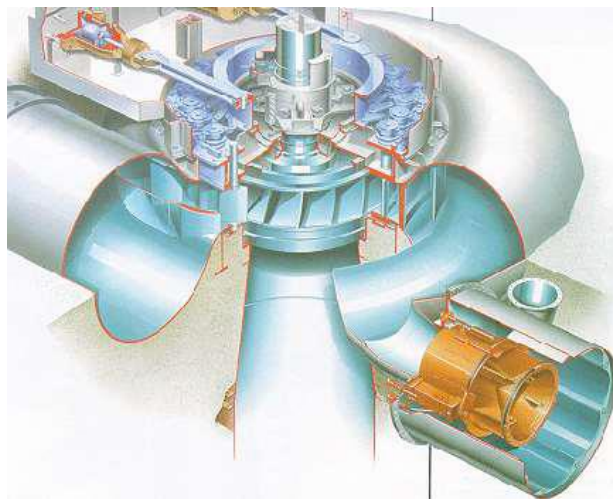
## 2. Turbin Reaksi

Merupakan jenis turbin yang memanfaatkan energi potensial sebagai penggerak sudu turbin sehingga menghasilkan energi mekanis. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya

tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin reaksi bekerja dengan cara penggerak turbin air secara langsung mengubah energi kinetik juga energi tekanan secara bersamaan menjadi energi mekanik, contohnya dari turbin reaksi adalah sebagai berikut.

a. Turbin *Francis*

Turbin *Francis* merupakan turbin reaksi dengan aliran radial. Bentuk dari turbin *francis* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Turbin *francis* dilengkapi baling-baling pemandu (*adjustable guide vane*) yang berfungsi mengatur aliran air agar menumbuk tapak turbin pada sudut yang tepat. Selubung turbin dibuat spiral dan meruncing untuk mendistribusikan air secara merata ke seluruh garis keliling tapak turbin yang mengarahkan air untuk keluar secara aksial dari pusat tapak. Turbin ini digunakan pada jangkauan *head* 25- 350 meter



Gambar 2.4 Turbin *Francis* (Jaliwala, 2010)

b. Turbin Propeller

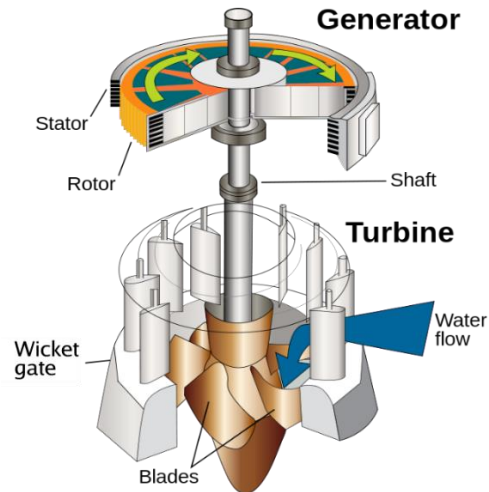
Turbin *propeller* dasar terdiri dari *propeller* yang mirip dengan *propeller* kapal laut yang dipasang di dalam pembuluh *penstock* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5. Poros turbin dipasang ke arah luar di tempat pembuluh berbelok. Turbin ini memiliki gerbang untuk mengatur debit air. Biasanya tiga hingga enam mata tapak digunakan pada turbin ini. Geometri tapak tidak dapat diubah. Akibatnya, turbin ini memiliki efisiensi yang sangat rendah pada kondisi *part-flow*.



Gambar 2.5 Turbin Propeller (Jaliwala, 2010)

c. Turbin Kaplan

Turbin *Kaplan* merupakan modifikasi dari turbin *propeller*, dapat dilihat kemiripannya pada Gambar 2.6. Turbin kaplan merupakan jenis turbin reaksi dengan tekanan lebih yang spesial. Sudu jalan pada turbin kaplan memiliki kemurnian dan belokan yang kecil. Pada turbin *Kaplan* geometri tapak dapat diubah-ubah posisinya sehingga efisiensi turbin pada *part-flow* dapat dijaga tetap tinggi.



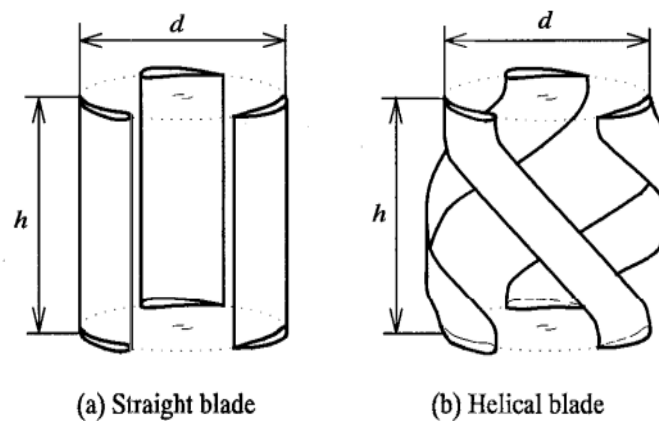
Gambar 2.6 Turbin *Kaplan* (Jaliwa, 2010)

Pengaturan sudu jalan dilakukan dengan suatu mekanisme di dalam sumbu runner yang dijalankan secara hidrolik oleh suatu alat pengatur selaras dengan pengaturan sudu sudu pengatur. Karena turbin bekerja dengan aliran aksial maka generator dapat dipasang di luar jalur aliran air ataupun diletakkan di dalam kerangka baja yang kedap air berjalur halus yang dipasang di tengah jalur aliran air (Dandekar, 1991).

d. Turbin Heliks

Turbin heliks adalah salah satu jenis turbin reaksi dimana fungsinya mengkonversi energi kinetik dari arus air dengan head rendah yang melalui sudu turbin menjadi energi mekanik. Turbin heliks ini ditemukan pertama kali oleh Alexander Gorlov pada tahun 1990 yang merupakan pengembangan dari turbin *darrieus*. Turbin *darrieus* merupakan turbin yang menggunakan aliran dengan *head* yang sangat rendah dengan bentuk sudu yang berbentuk *straight*. Turbin *darrieus* sangat baik dalam menghasilkan daya tetapi menimbulkan vibrasi pada

*tip speed ratio* yang tinggi. Untuk mengurangi vibrasi yang tinggi maka mulai dikembangkanlah turbin heliks oleh Gorlov. Turbin heliks merupakan penyempurnaan dari turbin *darrieus* dimana turbin heliks lebih baik pada putaran awalnya (Shiono, 2002). Bentuk dari turbin *darrieus* dan turbin heliks dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bentuk sudu turbin darrieus dan turbin heliks

(Kurniawan, 2014)

Adapun beberapa keunggulan dari turbin heliks yaitu (Gorlov, 2008):

1. Dapat beroperasi pada gelombang air laut, air pasang surut dan arus sungai.
2. Dapat berputar pada kecepatan air 0.6 m/s.
3. Berputar tanpa terjadi fluktuasi.
4. Berputar hanya pada satu arah, meskipun arus yang datang berubah-ubah arahnya, maka sangat ideal untuk arus pasang surut.
5. Turbin heliks dapat diposisikan sebagai turbin vertikal dan horizontal. Untuk posisi horizontal dapat digunakan pada air dangkal (sungai), dengan kedalaman air 1 meter.

Turbin heliks dapat menggunakan berbagai jumlah sudu, tetapi hasil kajian eksperimental menyimpulkan bahwa jumlah sudu terbaik turbin heliks sebanyak 3 buah sudu (Supratmanto, 2016).

### C. Parameter Rancangan Turbin Heliks

Dalam merancang turbin heliks perlu dilakukan perhitungan yang tepat supaya turbin mampu bekerja dengan baik dan memiliki efisiensi yang besar. Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam merancang turbin heliks untuk mendapatkan kinerja yang baik diantaranya yaitu seperti soliditas, *Tip Speed Ratio*, profil dan dimensi sudu turbin, torsi, dan daya turbin. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan untuk merancang turbin heliks adalah sebagai berikut:

#### 1. Soliditas dan *Tip Speed Ratio*

Soliditas adalah karakteristik geometrik turbin yang akan digunakan dalam menghitung gaya *drag* pada bagian *frontal* sudu turbin heliks. Luas kontak sudu yang mengakibatkan gaya-gaya yang ditimbulkan pada sudu turbin semakin besar dan mengakibatkan meningkatnya efek turbulen pada arus air, dimana pada daerah datangnya arus air (bagian *frontal* turbin) terjadi penurunan kecepatan air. Soliditas ( $\sigma$ ) dapat dihitung dengan Persamaan 4 (Shiono, 2002).

$$\sigma = \frac{nC}{\pi d} \quad (4)$$



Dimana:

$\sigma$  = Soliditas

$n$  = Jumlah sudu

$C$  = Panjang cord (mm)

$d$  = Diameter turbin (mm)

*Tip speed ratio* adalah rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan fluida yang melalui turbin. Gorlov mengemukakan bahwa nilai TSR yang terbaik digunakan untuk turbin heliks adalah sekitar 2,0 – 2,2 (Gorlov, 1998).

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (5)$$

$$\omega = \frac{2 \pi nt}{60} \quad (6)$$

Dimana:

$\lambda$  = *Tip speed ratio*

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$R$  = Jari-jari turbin (m)

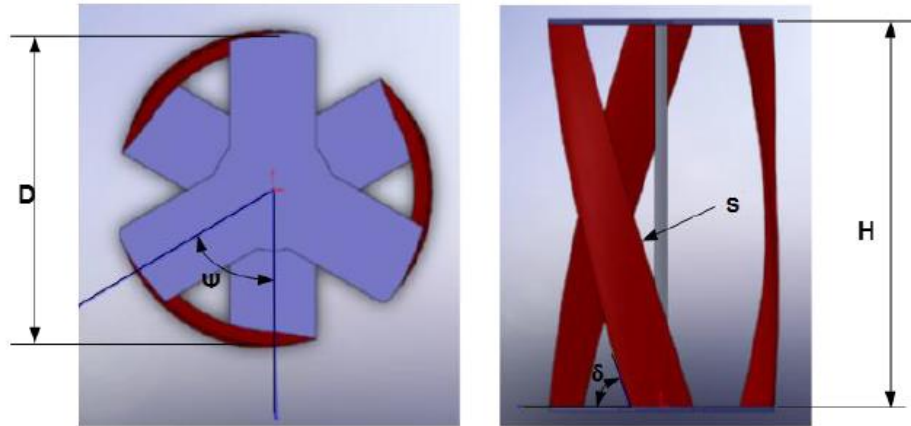
$U$  = Kecepatan air relatif (m/s)

$nt$  = Putaran turbin (rpm)

## 2. Profil dan Dimensi Turbin

Profil dan dimensi turbin dalam merancang turbin heliks diperlukan profil turbin yang dapat menghasilkan gaya lift yang besar dan gaya drag yang rendah sehingga akan menghasilkan torsi besar. Dimensi turbin yang perlu

diperhatikan seperti Gambar 2.8 yaitu jari-jari turbin, panjang sudu turbin dan panjang chord pada sudu dengan memperhatikan soliditas.



Gambar 2.8 Dimensi turbin heliks (Kurniawan, 2014)

Dari Gambar 2.8 diketahui  $\psi$  merupakan *twist angle* dan  $\delta$  merupakan *pitch angle*. Untuk menentukan panjang sudu turbin dan posisi sudut sudu bagian atas turbin ( $\varphi$ ) dengan menggunakan trigonometri seperti yang tertera pada Persamaan 7 sampai 9, setelah sebelumnya menentukan sudut  $\delta$  yang akan digunakan. Besar sudut  $\delta$  terhadap rasio tinggi turbin terhadap jari-jari turbin ( $L/R$ ) mempengaruhi nilai torsi non dimensional (Gorlov, 1998).

$$\delta = \tan^{-1} \frac{360 H}{\psi 2\pi r} \quad (7)$$

$$\text{Panjang sudu} = \frac{H}{\sin \delta} \quad (8)$$

$$DA = \cos \delta \times \text{Panjang sudu} \quad (9)$$

#### D. Unjuk Kerja PLTMH

Unjuk kerja PLTMH merupakan prestasi kerja unit atau mesin yang mencerminkan kuantitas yaitu kemampuan dan efisiensi sebagai kemampuan pemanfaatan energi.

##### 1. Torsi

Untuk menghitung torsi, perlu diketahui besar sudut serang. Sudut serang merupakan sudut yang terbentuk dari kecepatan resultan ( $W$ ) dan kecepatan keliling sudu ( $U$ ) dimana kecepatan resultan didapatkan dengan persamaan trigonometri. Perhitungan torsi yang dihasilkan turbin dapat menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot R \quad (10)$$

Dimana:

$T$  = Torsi (N.m)

$F$  = Gaya tegak lurus terhadap lengan (N)

$R$  = Jari-jari (m)

##### 2. Daya

Daya merupakan besar usaha persatuan waktu. Besar daya masukan atau daya air (*hydro*), dapat diperoleh menggunakan Persamaan 11 sebagai berikut (Fox, 2004):

$$P_h = \frac{1}{2} \rho A t V^3 \quad (11)$$

Dimana:

$P_h$  = Daya masukan/*hydro* (Watt)

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$A_t$  = Luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )

$V$  = Kecepatan air (m/s)

Daya keluaran atau daya turbin ( $P_t$ ) yang dihasilkan turbin heliks dapat diperoleh dengan perkalian torsi terhadap kecepatan sudut turbin  $\omega$  (rad/s).

Seperti pada Persamaan 12 sebagai berikut (Fox, 2004)

$$P_t = T \omega \quad (12)$$

Dimana:

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$T$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

Selain menggunakan persamaan diatas, daya turbin dapat ditinjau dari daya listrik yang dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin. Daya generator yang dihasilkan dihitung dengan mengukur tegangan ( $V$ ) dan arus listrik ( $I$ ) dengan persamaan berikut (Ewen, 2012):

$$P_g = V_g \times I_g \quad (13)$$

Dimana:

$P_g$  = Daya generator (Watt)

$V_g$  = Tegangan generator (Volt)

$I_g$  = Arus listrik (Amper)

### 3. *Coefficient of Power*

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya masukan atau daya air (*hydro*), nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai idealnya yaitu 0,59 yang berarti turbin kinetik hanya mampu merubah energi air menjadi energi mekanik kurang dari 60%. Nilai ini disebut dengan *Betz limit*. Persamaan koefisien daya sebagai berikut:

$$C_p = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad (14)$$

Dimana:

$C_p$  = *Coefficient of power*

$T$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang turbin (m)

$V$  = Kecepatan fluida (m/s)

### 4. Efisiensi

Efisiensi turbin dapat diperoleh dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh turbin ( $P_t$ ) terhadap daya air ( $P_h$ ) yang digunakan pada Persamaan 15 sebagai berikut (Fox, 2004):

$$\eta = \frac{P_t}{P_h} \times 100\% \quad (15)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$P_h$  = Daya hidro/air (Watt)

Atau apabila ditinjau dari daya generator ( $P_g$ ) terhadap daya air ( $P_h$ ) yang dihasilkan maka akan diperoleh efisiensi model PLTMH dengan Persamaan 16 sebagai berikut (Fox, 2004).

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_g}{P_h} \times 100\% \quad (16)$$

Dimana:

$\eta_{PLTMH}$  = Efisiensi PLTMH

$P_g$  = Daya generator (Watt)

$P_h$  = Daya hidro/air (Watt)

### E. *Airfoil*

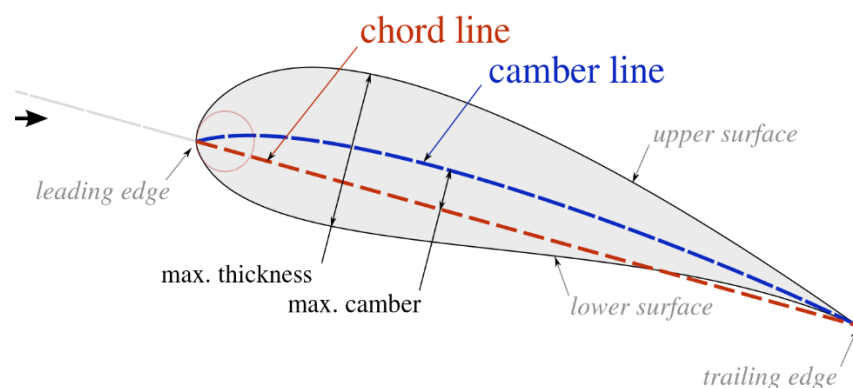
*Airfoil* adalah suatu struktur dengan bentuk hidrodinamik yang berguna untuk menghasilkan gaya mekanis (angkat) akibat dari gerakan relatif dari *airfoil* dan juga fluida sekitarnya. *Airfoil* merupakan suatu bentuk penampang sayap atau sudu (dari rotor, baling-baling atau turbin) yang memiliki bentuk, sifat dan tujuan untuk memperoleh ekstrak energi yang efisien dari fluida penggerak. Pada dasarnya *airfoil* memiliki permukaan atas dan bawah. Pada Sebagian besar *airfoil*, kelengkungan permukaan atas lebih tinggi daripada permukaan bawah, tetapi dapat juga berbentuk simetris yang berarti tinggi permukaan atas sama dengan tinggi permukaan bawah (Hepperle, 2014).

*Airfoil* memiliki bentuk yang beragam dan memiliki standar data yang telah dikembangkan oleh beberapa lembaga penelitian, salah satunya yaitu *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) dan *RISØ National Laboratory* (Denmark). Profil *Airfoil* dinyatakan oleh NACA dengan angka yang menyatakan beberapa parameter seperti ketebalan maksimal, *chamber* maksimum, posisi ketebalan maksimal, posisi *chamber* maksimum dan radius hidung dimana setiap angka memiliki makna.

### 1. Seri 4 Digit

NACA seri empat digit, pengertian angka-angkanya adalah:

- a. Digit pertama menyatakan persen maksimum *chamber* terhadap panjang *chord*.
- b. Digit kedua menyatakan sepersepuluh posisi maksimum *chamber* pada *chord* dari *leading edge*.
- c. Dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan *airfoil* terhadap panjang *chord*.



Gambar 2.9 Penampang *airfoil*

Contoh dari penomoran ini adalah *airfoil* NACA 2412, yang berarti *airfoil* memiliki chamber maksimum 0,02 terletak pada 0,4c dari *leading edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% *chord*.

Penampang melintang dari *airfoil* akan membentuk profil seperti Gambar 2.9 yang memiliki beberapa bagian dengan penamaan atau istilah dan fungsi masing-masing. Penjelasan dari terminologi *airfoil* adalah sebagai berikut:

1. *Leading edge*, merupakan bagian permukaan paling depan dari *airfoil*.
2. *Trailing edge*, merupakan bagian permukaan paling belakang dari *airfoil*.
3. *Mean chamber line*, merupakan garis pertengahan yang membagi antara permukaan bagian atas dan permukaan bagian bawah dari *airfoil*.
4. *Chord line*, merupakan garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*. Apabila *airfoil* simetris maka *chord line* akan segaris dengan *chord*.
5. *Chord*, merupakan perpanjangan *chord line* mulai dari *leading edge* hingga *trailing edge*. Dengan kata lain, *chord* adalah karakteristik dimensi longitudinal dari suatu *airfoil*.
6. *Maximum chamber*, merupakan jarak antara *mean chamber line* dengan *chord line*. *Maximum chamber* mendefinisikan bentuk dari *mean chamber line*.
7. *Maximum thickness*, merupakan ketebalan maksimum dari suatu *airfoil*, dan menunjukkan persentase dari *chord*. *Maximum thickness* membantu mendefinisikan bentuk dan performa dari *airfoil*.



Unjuk kerja dari sudu-sudu yang *airfoil*, dinyatakan dalam harga koefisien gaya *drag* ( $C_D$ ) dan gaya *lift* ( $C_L$ ). Gaya *lift* adalah gaya yang arahnya tegak lurus aliran yang mengenai suatu bentuk *airfoil*. Gaya *drag* adalah gaya yang sejajar dengan aliran fluida yang mengenai suatu bentuk *airfoil*.

## F. Aliran Fluida

Fluida dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Begitupun dengan bahan-bahan seperti oli, cat, ter dan larutan polimer yang menunjukkan karakteristik zat padat atau fluida yang dipengaruhi oleh tegangan geser yang dialami. Jenis aliran suatu fluida dapat dilihat pada Reynold number yang terdapat pada fluida tersebut. Reynolds number merupakan nilai non-dimensional yang didefinisikan sebagai rasio gaya inersia dengan viskositas. Nilai Reynolds number dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (17)$$

Dimana:

Re = *Reynolds number*

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

v = Kecepatan fluida (m/s)

L = Panjang aliran (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/(ms)}$ )

### 1. Aliran laminar

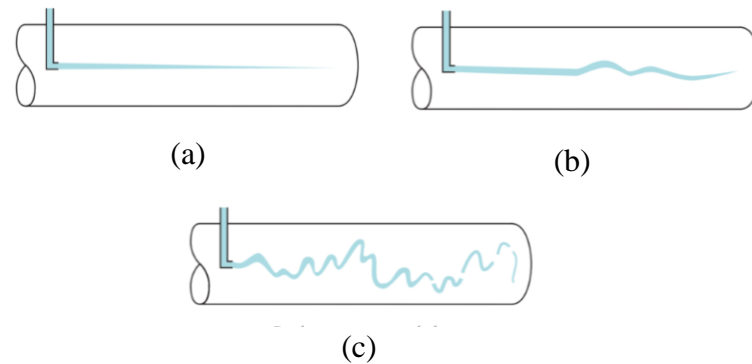
Aliran fluida dapat dikatakan laminar jika aliran fluida yang bergerak searah dan konstan melintas secara beraturan, tidak memotong antara aliran 1 dengan aliran lainnya yang dipengaruhi kecepatan fluida yang sama. Sehingga aliran laminar ini dapat dengan mudah diamati pergerakan partikel fluidanya. Laju aliran laminar memiliki Bilangan Reynold lebih kecil dari 2300 ( $Re < 2300$ ).

### 2. Aliran turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang bergerak tidak beraturan (fluktuatif), dimana pada kondisi aliran turbulen ini partikel fluida yang bergerak menunjukkan pola acak tidak beraturan sehingga pergerakannya sulit diamati. Laju aliran turbulen memiliki Bilangan Reynold lebih besar dari laminar dan transisi yaitu pada  $Re > 4000$ .

### 3. Aliran transisi

Adapun diantara proses terjadinya aliran secara laminar dan turbulen yang terjadi terdapat daerah yang dikenal dengan daerah transisi yaitu daerah dimana terjadinya jarak (space) waktu perubahan dari aliran laminar menuju turbulen. Proses transisi tersebut dapat dilihat dari. Laju aliran transisi memiliki Bilangan Reynold lebih besar dari laminar  $Re > 2300$  lebih kecil dari turbulen  $Re < 4000$  (Munson, 2009).



Gambar 2.10. (a) Aliran laminar, (b) Aliran transisi, (c) Aliran turbulen

### G. *Computing Fluid Dynamic (CFD)*

*Computing Fluid Dynamic (CFD)* merupakan dinamika fluida komputasi yang menyimulasikan sifat sifat aliran fluida dan perpindahan panas. CFD merupakan suatu cabang dinamika fluida yang menggunakan pengembangan metode numerik, teknik komputasi dan studi kasus dalam berbagai aplikasi untuk dibangun prototipe kemudian dilakukan analisa dan evaluasi.

Proses implementasi CFD, menggunakan iterasi sehingga dapat menggambarkan langkah dalam proses CFD dan memberikan solusi ketika menggunakan analisis CFD dalam memahami fenomena aliran. CFD sangat berguna untuk pembelajaran mengenai laju aliran, perpindahan panas serta reaksi kimia dengan penyelesaian persamaan matematik dengan bantuan analisis numerik. CFD menyelesaikan dengan membagi sistem satuan kecil sel dan mengaplikasikan persamaan pada elemen diskrit untuk mencari penyelesaian numerik mengenai distribusi tekanan dan gradien temperatur.

CFD juga dapat membentuk *virtual prototype* dari sistem atau alat dari wujud asli dengan memaparkan Gambar data serta memprediksi unjuk kerja dari desain yang dibuat. Metode yang diterapkan pada umumnya adalah mesin pembakaran dalam, ruang pembakaran turbin gas dan tungku serta terdapat aliran fluida dan perpindahan panas pada alat alat pemindah panas. Pada umumnya, ketika melakukan simulasi dengan CFD, ada tiga tahapan yang harus dilalui:

### 1. *Pre-processing*

*Pre-processing* adalah tahapan pertama dalam membangun dan menganalisis model CFD. Pada tahapan ini, dilakukan pembuatan model geometri dengan paket CAD (*Computer Aided Design*), membuat mesh atau grid yang sesuai, dan menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya. Pada tahap ini ada 4 hal yang perlu dilakukan:

- a. Membuat geometry. tahap membuat geometry dapat dengan fasilitas *build geometry* dari *software* CFD yang kita gunakan, atau bisa dengan menggunakan *software* CAD. Kita perlu menentukan apakah permasalahan yang kita hadapi cukup disimulasikan dengan 2 dimensi atau 3 dimensi, apakah kita akan memodelkan hanya sebagian benda atau seluruhnya.
- b. *Meshing*. Menentukan type mesh yang akan kita gunakan. Apakah menggunakan *tetrahedron*, *hexahedron* atau *polyhedron* Memori komputer juga turut menentukan seberapa banyak *cells/node* yang bisa kita buat

- c. Menentukan material properties dari fluida, *physical models*, *boundary condition*, *turbulence modelling*, dll.
- d. Pengaturan *solver* (*numerical schemes*, *convergence controls*, *convergence monitors*, dll).

## 2. *Solving*

Inti dari perhitungan solusi simulasi ada pada tahap solving. Pada tahap ini, solusi dihitung berdasarkan kondisi-kondisi yang diterapkan pada tahap pre-processing. persamaan-persamaan yang dilibatkan dalam simulasi CFD akan diselesaikan secara iterative sampai mencapai kondisi konvergen. Tingkat akurasi dari solver ditentukan oleh tingkat keakuratan dari kondisi batas atau asumsi yang digunakan, *meshing* dan *numerical error* (baik karena keterbatasan software atau karena kekeliruan *user software*).

## 3. *Post-processing*

*Post-processing* adalah tahap terakhir dalam CFD. Pada tahap ini, dilakukan interpretasi dari data hasil simulasi yang dapat berupa visualisasi kontur, animasi, vektor, kurva, histogram, dan lain sebagainya yang nantinya dapat dilakukan analisis serta dikembangkan. Hasil yang didapat tahap post processing ini perlu dilakukan uji lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Untuk pengujian tingkat keakuratan bisa dengan membandingkan dengan literatur yang lain (validasi).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tempat dan waktu penelitian sebagai berikut:

##### 1. Tempat Penelitian

Penelitian dan pengambilan data akan dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin Universitas Lampung.

##### 2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni 2021 sampai dengan November 2021 dengan jadwal kegiatan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
1.	Studi Literatur	■	■				
2.	Mendesain Geometri turbin heliks		■	■	■		
3.	Mensimulasi dan validasi data eksperimen dengan metode CFD			■	■	■	
4.	Simulasi unjuk kerja turbin heliks dengan variasi jumlah sudu dan twist angle menggunakan metode CFD				■	■	■
5.	Pembuatan laporan akhir					■	■

## B. Parameter Penelitian

Parameter penelitian untuk melakukan validasi serta simulasi menggunakan acuan data eksperimen yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya:

### 1. Data Eksperimen

Data spesifikasi turbin yang akan diuji didapat berdasarkan penelitian dari Kurniawan (2014). Yaitu geometri turbin, torsi (Nm), Putaran turbin (rpm) dan kecepatan aliran (m/s). Adapun geometri dari turbin heliks yang kan diuji sebagai berikut:

Tabel 3.2 Geometri turbin heliks

NO	Parameter	NACA 0030
1	Panjang <i>chord</i>	5 cm
2	Jumlah sudu	2, 3 dan 4
3	Jari-jari turbin	9 cm
4	Tinggi turbin	30 cm
6	Twist <i>angle</i> ( $\psi$ )	60°, 90° dan 120°
8	Kecepatan aliran	1,5 m/s
9	Putaran turbin (rpm)	0, 60.7, 140.7, 214, 323.4, 440.4, 535.5

### 2. Validasi Simulasi

Hasil penelitian berupa simulasi CFD akan dibandingkan dengan data hasil eksperimen oleh Kurniawan (2014) yang melakukan pengujian model

turbin heliks *airfoil* NACA 0020. Data hasil eksperimen yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Table 3.3. Data hasil eksperimen

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)
0,00	0,743
60,7	0,675
140,7	0,54
214	0,478
323,4	0,297
440,4	0,122
535,5	0

### 3. Simulasi Unjuk Kerja

Simulasi unjuk kerja turbin heliks yang akan dilakukan pada geometri menggunakan beberapa variasi, yaitu jumlah sudu dan sudut serang. Proses simulasi yang dilakukan menggunakan aplikasi CFD yaitu *Ansys fluent* 20.1 dan perancangan desain geometri menggunakan *software solidwork* 2019.

## C. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Komputer



Peralatan pengujian merupakan seperangkat komputer yang telah terinstal *software* yang berkaitan dengan spesifikasi komputer sebagai berikut:

- *Processor* : AMD ryzen 5
- *RAM* : 8 Gb
- *VGA* : AMD Radeon vega
- *Operating system* : Win 10 64 bit

## 2. *Software*

*Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Notepad*, *Microsoft Excel* untuk *input* koordinat geometri, *software solidwork* 2019 untuk mendesain dimensi dari airofoil dan *software Ansys Fluent* R2.1 untuk mensimulasikan hasil dari desain yang telah dibuat.

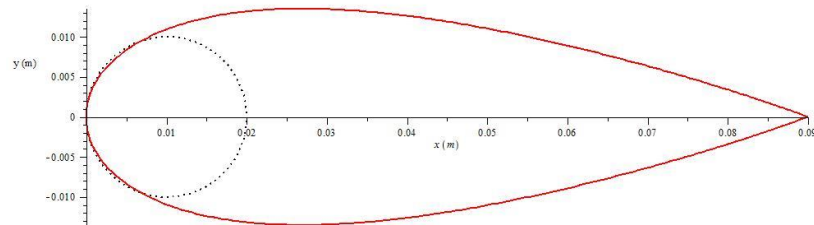
## D. Langkah-Langkah Pengujian

Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Pemodelan Geometri

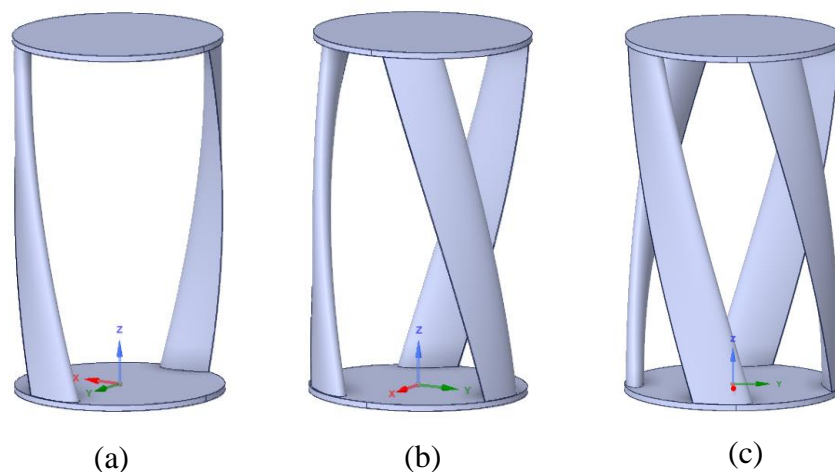
*Airofoil* yang dipilih merupakan *airofoil* NACA 0030 yang diunduh dari situs *airfoiltools*. Kode geometri dibutuhkan untuk membuat penampang *airfoil*, koordinat geometri yang telah didapat terdiri atas dua kolom yang mewakili sumbu x dan y. Selanjutnya koordinat geometri tersebut di *input* ke *notepad* dan *Microsoft excel* untuk ditambahkan kordinat sumbu z dan dijadikan berupa *file* dat agar dapat dibuat desain gometri pada *software*

*solidwork*. Setelah koordinat dimasukkan ke *software solidwork* maka penampang airfoil akan terbentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.

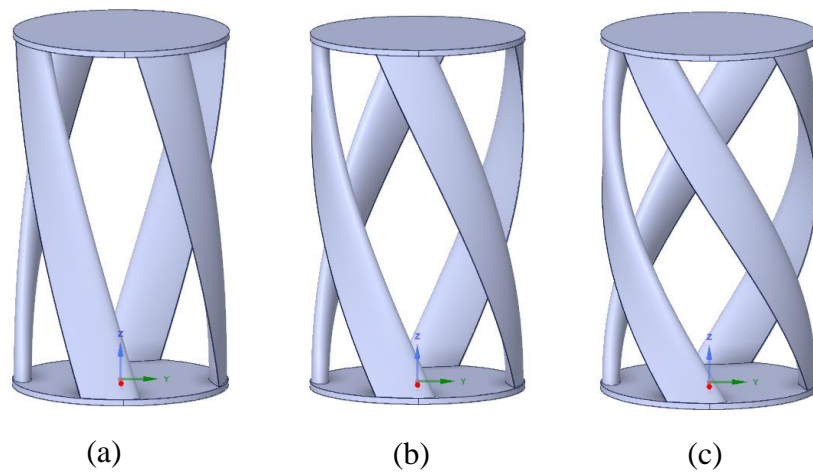


Gambar 3.1 Geometri airfoil NACA 0030

Langkah selanjutnya adalah membentuk geometri dengan *software Solidwork*. Tahapan yang dilakukan adalah menginput koordinat *airfoil* yang telah dimodifikasi untuk dibuat desainnya. Setelah desain terbentuk, kemudian geometri tersebut dilakukan variasi berdasarkan jumlah sudu yaitu 2, 3 dan 4 sudu. Serta variasi *twist angle* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3 berikut:



Gambar 3.2 Variasi jumlah sudu turbin (a) 2 sudu, (b) 3 sudu dan (c) 4 sudu



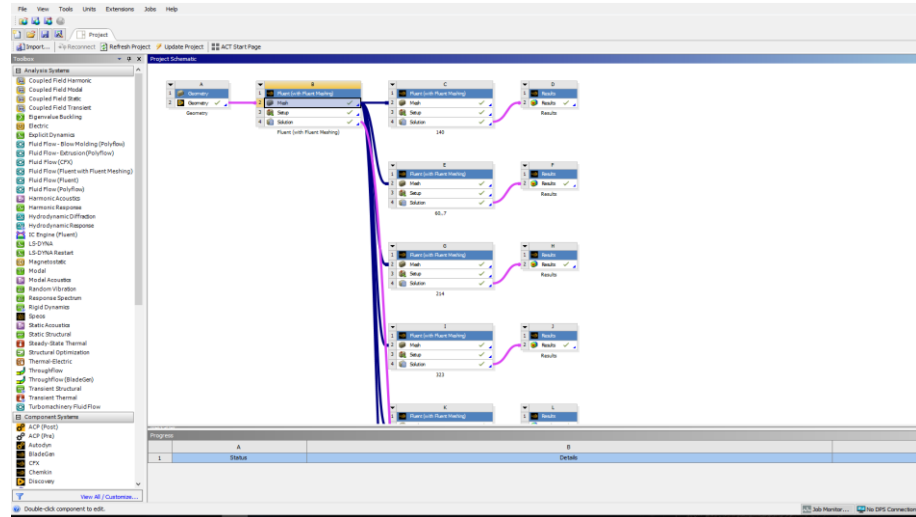
Gambar 3.3. Variasi *twist angle* turbin (a)  $60^\circ$ , (b)  $90^\circ$  dan (c)  $120^\circ$

## 2. Proses Simulasi

Proses simulasi turbin heliks dilakukan seperti kondisi pengujian dengan kondisi lingkungan sesuai aktualnya. File model geometri yang telah dihasilkan di *solidwork* lalu dibuka di program *computational Fluid Dynamic* (CFD) menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent*. Secara umum proses simulasi terbagi menjadi tiga tahap yaitu *pre-processing*, *Solver* dan *Post-processing*.

### a. *Pre processing*

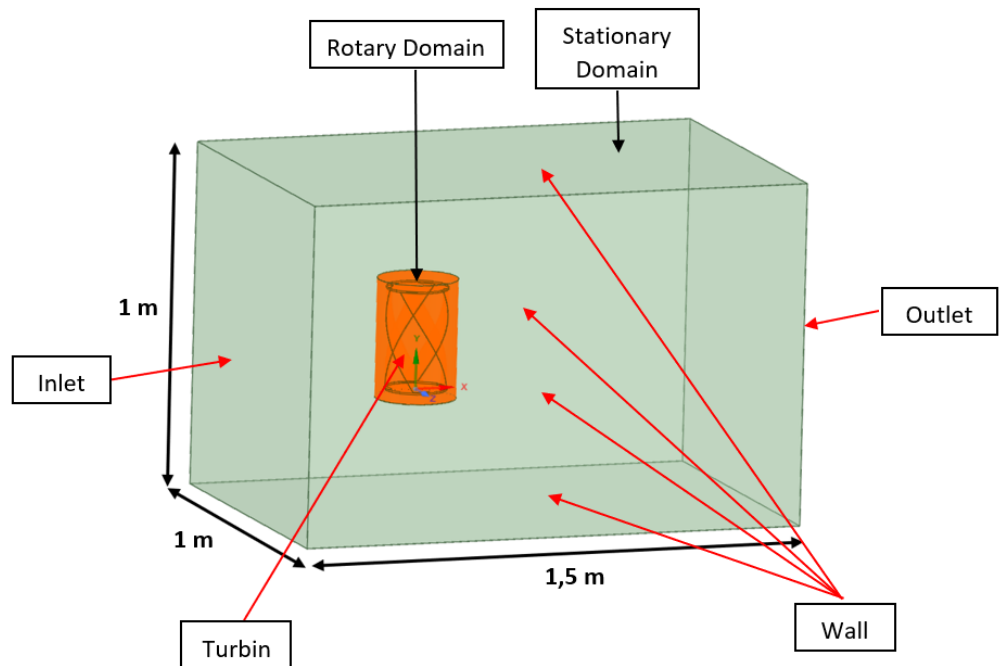
Tahap *pre-processing* terbagi atas dua bagian secara umum yaitu mendesain geometri turbin dan melakukan proses pembagian elemen (*meshing*) pada Gambar 3.4 merupakan tampilan lembar kerja dari *ansys fluent*.



Gambar 3.4 Tampilan lembar kerja *ansys fluent*

- Pembentukan desain geometri

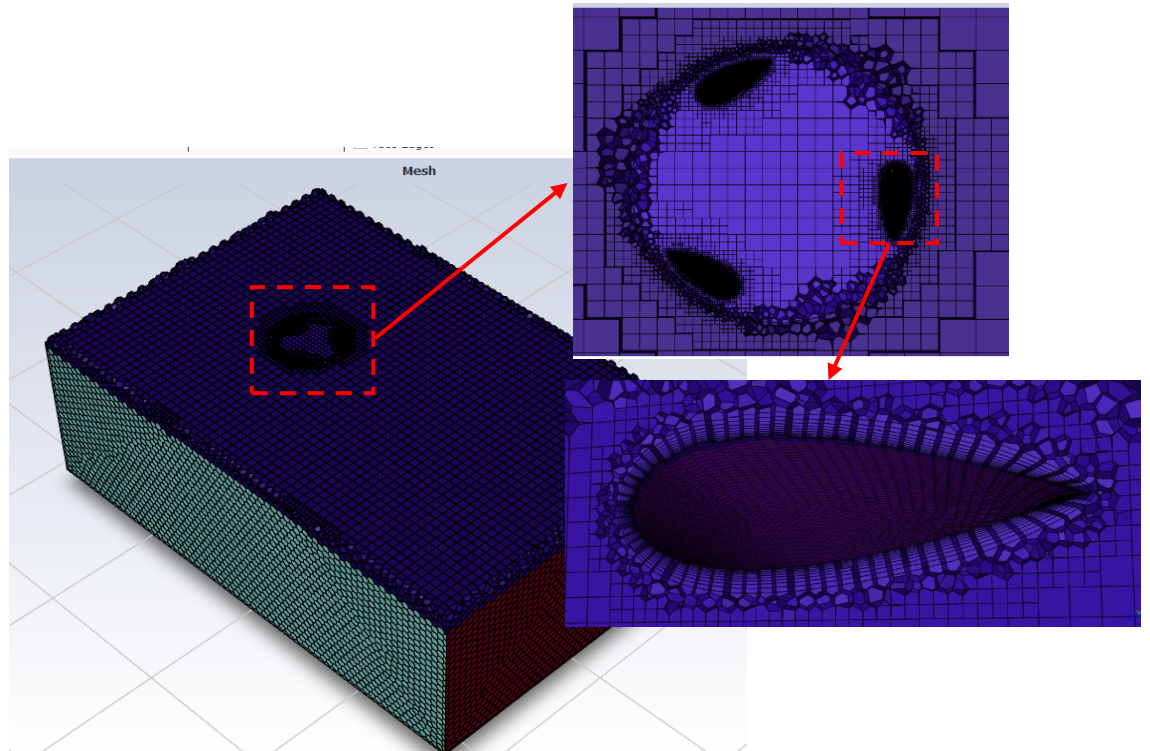
Proses desain geometri menggunakan dimensi yang telah ditentukan seperti pada Tabel 3.2. Berikut Gambar 3.5 desain geometri pengujian yang dibuat.



Gambar 3.5 Desain geometri pengujian turbin heliks

- Pembentukan *mesh*

Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu objek akan mempengaruhi ketelitian hasil perhitungan CFD. Semakin kecil ukuran mesh pada suatu objek, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti. Konsep pembuatan mesh yang dilakukan dimulai dari *local mesh* untuk bagian yang ingin meshnya diperkecil agar lebih detail. Lalu *surface mesh* untuk mesh permukaan. Setelah itu *mesh volume* untuk membentuk *mesh* secara keseluruhan, tipe *mesh* yang dipilih yaitu *poly-hexcore* yang merupakan gabungan antara *polyhedral* dan *hexahedral mesh*. Berikut Gambar 3.6 merupakan tampilan mesh yang dibuat.



Gambar 3.6 Tampilan *mesh* pada turbin yang dibuat di *Ansys*

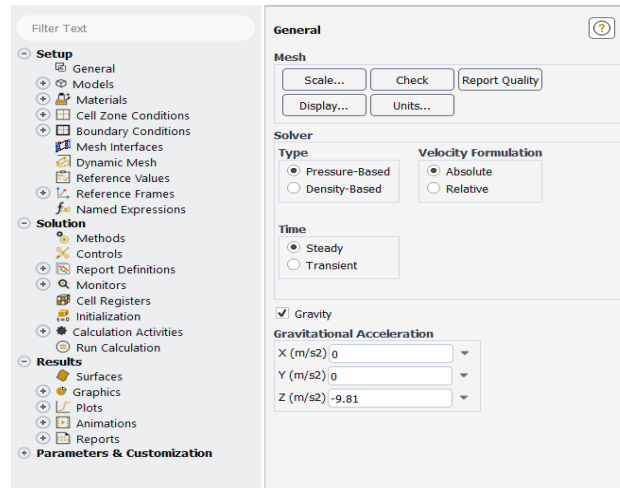
*Fluent*

b. *Solver*

Pada tahap ini proses pemberian kondisi batas diberikan. Kondisi batas terdiri dari parameter-parameter yang sesuai dengan alat yang akan disimulasikan dan kondisi material yang akan digunakan. Pada tahap *Solver* terdiri dari beberapa menu seperti *General*, *Models*, *Material*, *Cell Zone Condition*, *Boundary Condition*, *Mesh Interface*, *Initialization*, *Calculation Activities*, dan *Run Calculation*.

- *General Menu*

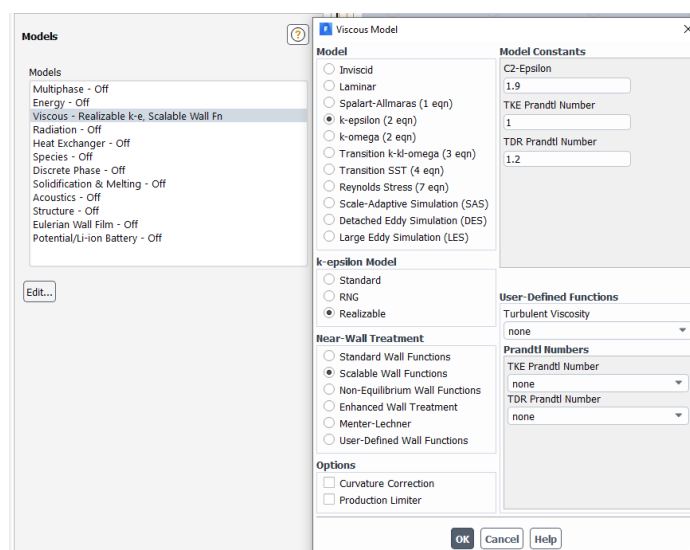
Pada *General menu* ada beberapa pengaturan awal yang dapat dipilih sebelum ke tahap selanjutnya. Pada simulasi ini menggunakan sistem aliran fluida *steady*, kemudian pada *velocity formulation* menggunakan *absolute*, dan *Solver type* menggunakan *pressure-based*. Pada set unit perlu diubah satuan kecepatan sudut menjadi *rpm*, kemudian pada opsi *scale length* diubah menjadi milimeter, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.7. Dapat dilakukan juga setting lanjutan pada bagian ini sebelum masuk ke tahap selanjutnya dalam proses simulasi *ansys fluent* ini dengan setting *display* untuk tampilan geometri yang disesuaikan dengan kebutuhan simulasi, pada opsi *check* diperuntukkan menganalisa ulang hasil *meshing* yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya agar diketahui apakah mesh yang dibuat sudah baik.



Gambar 3.7. *General menu*

- *Models Menu*

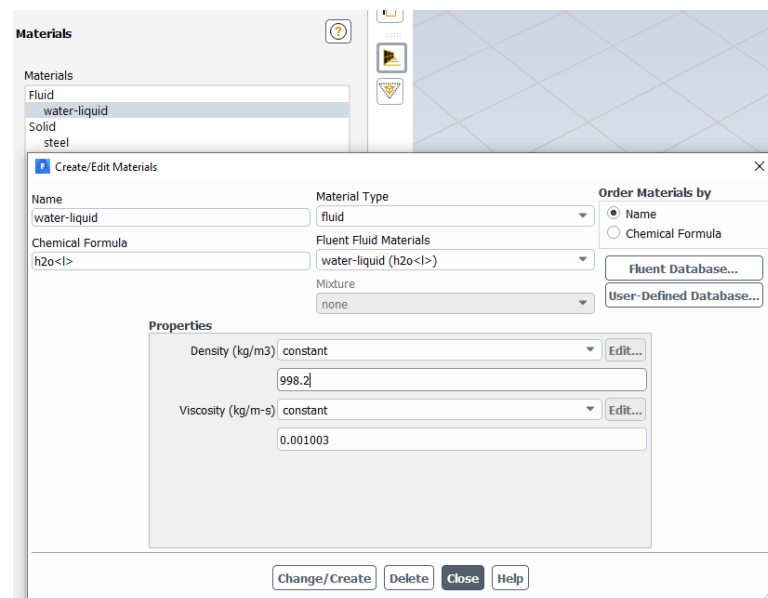
Pada *models menu* ada beberapa opsi yang dapat dipilih, namun pada simulasi ini hanya menggunakan opsi viskositas dari aliran laminar menjadi k-omega-SST, hal ini dilakukan karena posisi fluida dimungkinkan terjadi keadaan turbulen. Berikut Gambar 3.8 merupakan tampilan menu *models*.



Gambar 3.8 *Models menu*

- *Material Menu*

*Material menu* merupakan tempat mengatur kondisi batas material yang akan digunakan. Untuk turbin heliks yang dirancang menggunakan material plat baja dengan densitas sebesar  $8030 \text{ kg/m}^3$ . karena turbin ini bekerja pada media air maka material material fluida yang digunakan adalah *water liquid* dengan karakteristik densitas sebesar  $998.2 \text{ kg/m}^3$ , viskositas  $0.001003 \text{ kg/m-s}$ . Berikut Gambar 3.9 merupakan tampilan menu material.



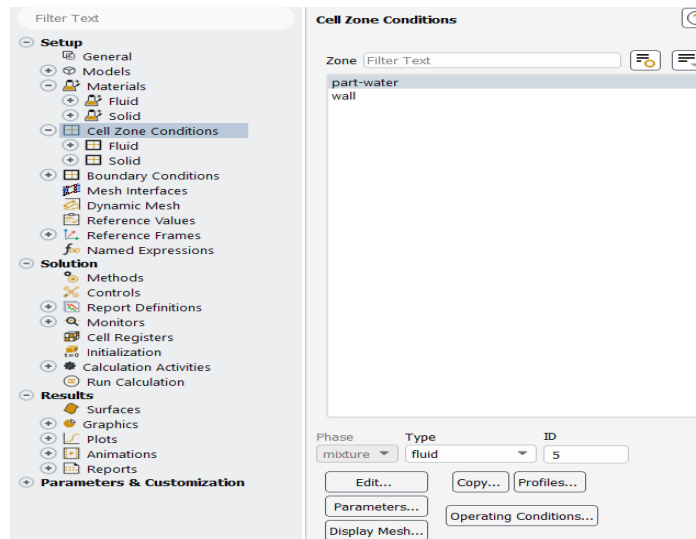
Gambar 3.9 Material menu

- *Cell Zone Condition Menu*

Pada menu ini hanya menyesuaikan pemakaian material yang cocok dengan geometri. Turbin heliks menggunakan geometri *solid*, kemudian material solid yang dipilih adalah dengan pemberian nama *steel*. Fluida menggunakan material fluid, material fluida yang dipilih adalah *water liquid* (air). Selain itu disini juga dimasukkan variabel



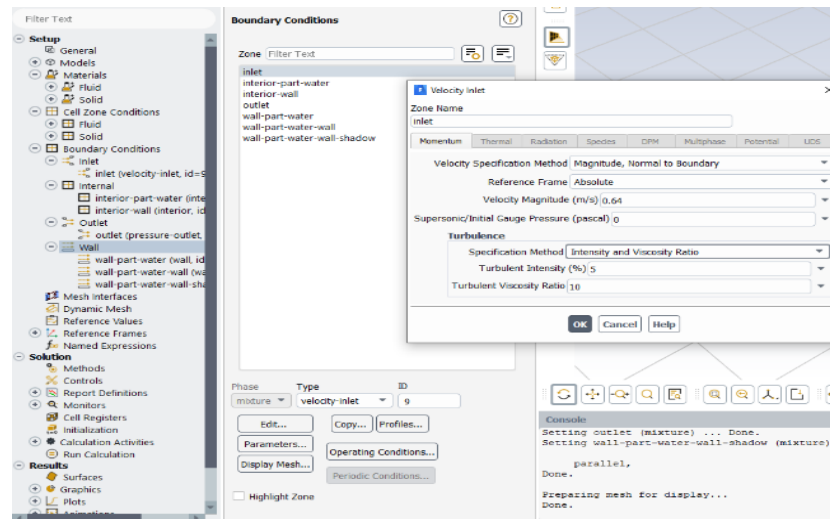
putaran (rpm) yang akan digunakan pada simulasi. Berikut Gambar 3.10 merupakan tampilan menu *cell zone condition*.



Gambar 3.10 *Cell Zone Condition* Menu

- *Boundary Condition Menu*

Pada menu ini merupakan bagian yang sangat penting karena pada bagian ini mengatur *control* terhadap fluida. Pada opsi *inlet* menggunakan tipe *velocity inlet* dengan laju aliran massa fluida yang mengalir masuk ke sistem sebesar 1,5 m/s. *Outlet* fluida menggunakan opsi *pressure outlet* agar kecepatan keluar disesuaikan secara otomatis. Berikut Gambar 3.11 merupakan tampilan menu *Boundary condition*.



Gambar 3.11 *Boundary condition* menu

- *Mesh interface mesh*

Pada menu ini mengatur kontak yang terjadi antar permukaan luar sudu turbin dan fluida. Pada simulasi ini menggunakan dua opsi *interface*.

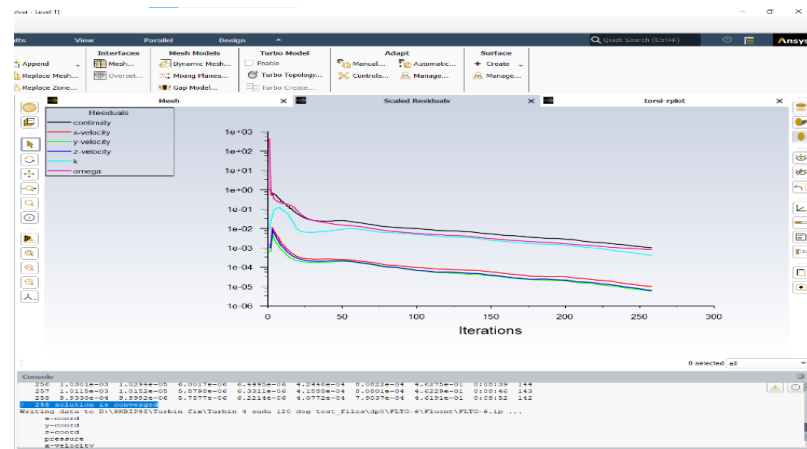
- *Initialization Menu*

Pada menu ini perhitungan dimulai dari *inlet* fluida dan opsi yang dipakai adalah *hybrid initialization*, dengan begitu sistem akan otomatis melakukan pemrosesan.

- *Run Calculation menu*

Pada pengaturan ini digunakan berapa iterasi yang akan digunakan, setelah iterasi ditentukan, kemudian pengambilan interval data juga ditentukan. Pada simulasi ini menggunakan iterasi sampai mendapat

data. Setelah diatur kemudian pilih *calculate* untuk memulai simulasi. Berikut Gambar 3.12 merupakan tampilan proses iterasi.



Gambar 3.12 Proses iterasi

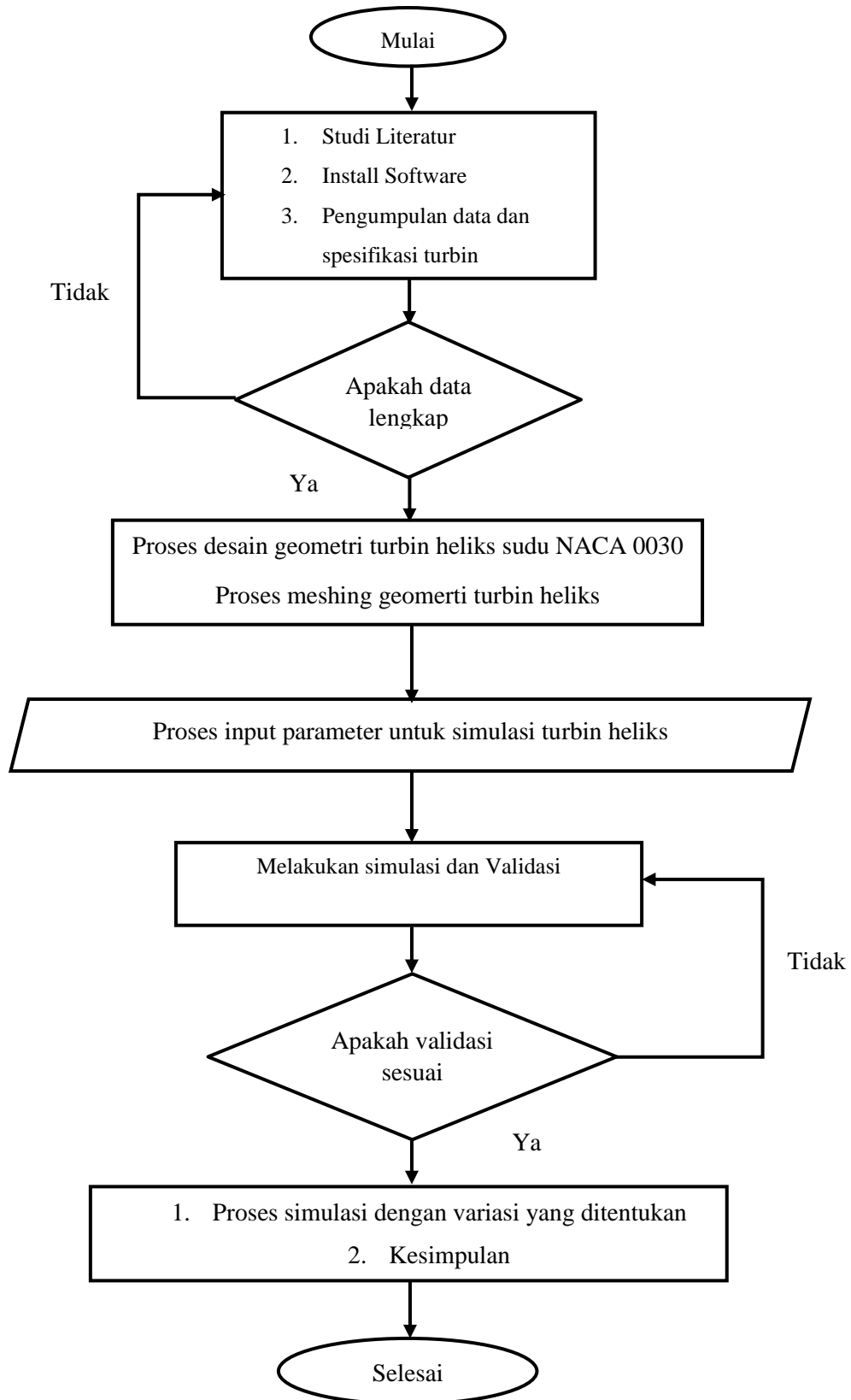
### 3. Melakukan Post Processing

Hasil konvergen akan didapat setelah dilakukan beberapa kali iterasi. Langkah selanjutnya adalah melakukan *post-processing* berupa nilai, vektor kecepatan, kontur tekanan serta data data lain yang dibutuhkan pada penelitian.

## E. Data Hasil Pengujian

Tabel 3.4 Hasil simulasi variasi jumlah sudu dan sudut serang

Jumlah sudu	Putaran turin (rpm)	Torsi (Nm)	Daya Hidro (Watt)	Daya Turbin	TSR	Cp
	0					
	60,7					
	140,7					
	214					
	323,4					
	440,4					
	535,2					

**F. Diagram Alir**

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil simulasi dan analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan jumlah sudu berpengaruh positif dan berbanding lurus terhadap performa turbin heliks. Diketahui daya turbin paling optimum yang dihasilkan dengan variasi 2, 3 dan 4 sudu secara berturut-turut sebesar 8,870 Watt, 24,338 Watt dan 26,132 Watt. Kemudian nilai  $C_p$  paling optimum yang diperoleh dari turbin 2, 3 dan 4 sudu secara berturut-turut adalah sebesar 0,098, 0,268 dan 0,287. Turbin heliks 4 sudu menghasilkan performa terbaik ditinjau dari daya turbin dan  $C_p$  yang dihasilkan memiliki nilai tertinggi.
2. Pada simulasi pengujian variasi *twist angle* dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan performa walau tidak terlalu signifikan. Untuk penambahan besar *twist angle* dari  $60^\circ$  ke  $90^\circ$  sudu terjadi peningkatan rata-rata nilai  $C_p$  sebesar 4% dan untuk penambahan *twist angle* dari  $90^\circ$  ke  $120^\circ$  terjadi peningkatan rata-rata nilai  $C_p$  yang sama sebesar 5%. *Twist angle* paling

optimum berdasarkan hasil simulasi yaitu pada  $120^\circ$  dengan  $C_p$  tertinggi sebesar 0,312.

## **B. Saran**

Adapun saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu dilakukan simulasi lanjutan dengan jenis airfoil non simetri untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja dan karakteristik dari turbin secara menyeluruh.
2. Pada penelitian lanjutan perlu ditambahkan simulasi dengan memvariasikan kecepatan alir fluida *inlet*.
3. Dalam simulasi hendaknya menggunakan komputer dengan spesifikasi lebih tinggi sehingga proses iterasi bisa dilakukan dengan cepat dan didapatkan model *mesh* yang lebih baik agar data yang diperoleh lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. 2011. *Design and Manufacture of a Crossflow Helical Tidal Turbine: Capstone Project Report*. University of Washington. Amerika Serikat.
- Andrianto, M.W, 2009. *Studi Teknis Pemilihan Turbin Kobold pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Bawah Laut di Selat Madura*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Castillo. 2011. *Small-scale Vertical Axis Wind turbine design*. Tamper University of Applied Science
- Dandekar, M.M., dan Sharma, K.N., 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Ewen, D. Schurter, N. dan Gunderson, P.E. 2012. *Applied Physics*. United State of America. Pearson Education, Inc.
- Fox, W.R. McDonald, T.A., dan Pritchard, J.P., 2004. *Introduction to Fluid Mechanics*. United State of America. John Wiley and Sons, Inc.

Gorlov A.M. 1998. *Turbine With a Twist: Journal Macro-Engineering and The Earth World Project for Year 2000 and Beyond*. Northeastern University. Boston, MA.

Hepperle. 2014. *Java Foil User's Guide*.

Jaliwala, R., dan Tim *Contained Energy Indonesia.*, 2010. Buku Panduan Energi yang Terbarukan. Kementrian Dalam Negeri. Jakarta.

Kurniawan, I. 2014. *Kajian Eksperimental dan Numerikal Turbin Air Heliksal Gorlov Untuk Twist Angle 60° dan 120°*. Jurnal Teknobiologi, V(1) 2014: 7 – 13.

Munson et all. 2009. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 6<sup>th</sup> edition. United states of America. John Wiley and Sons, Inc.

Pieterz, Richard dkk. 2013. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 4 No. 3 2013: 220-226.

Rahman, M. 2018. *Pengaruh Soliditas dan Penggunaan Sudu Pengarah Aliran Terhadap Unjuk Kerja Model Turbin Heliks*. Universitas Lampung. Lampung.

Shiono, M. Suzuki, K. dan Kiho, S. 2002. *Output Characteristic of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations: journal ISSN*. Nihon University. Japan.



Sitepu, A.W. 2014. *Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Heliks Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Universitas Lampung. Lampung.

Supratmanto, D. 2016. *Kajian Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Heliks Untuk Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Universitas Lampung. Lampung.