



**ANALISIS SIMULASI EFISIENSI TURBIN ANGIN  
SUMBU HORIZONTAL AIRFOIL NACA 4415  
MENGUNAKAN *BLADE ELEMENT MOMENTUM*  
(BEM) DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*  
(CFD)**

**SKRIPSI**

**REVA MAZINI**

**1710311004**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
2021**



**ANALISIS SIMULASI EFISIENSI TURBIN ANGIN  
SUMBU HORIZONTAL AIRFOIL NACA 4415  
MENGUNAKAN *BLADE ELEMENT MOMENTUM*  
(BEM) DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*  
(CFD)**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik**

**REVA MAZINI**

**1710311004**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
2021**

## PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Reva Mazini

NIM : 1710311004

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : ANALISIS SIMULASI EFISIENSI TURBIN ANGIN  
SUMBU HORIZONTAL AIRFOIL NACA 4415  
MENGUNAKAN *BLADE ELEMENT MOMENTUM*  
(BEM) DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*  
(CFD)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

Penguji Utama

Muhamad As'adi, M.T., IPM

Penguji Lembaga

Pembimbing I

M. Arifudin Lukmana, S.T., M.T.

Dekan

Dr. Damora Rhakasywi S.T., M.T., IPP

Kepala Program Studi



Dr. Ir. Reda Rizal, B.Sc., M.Si

Nur Cholis, S.T., M.Eng

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 12 Juli 2021

## PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Reva Mazini

NIM : 1710311004

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : ANALISIS SIMULASI EFISIENSI TURBIN ANGIN SUMBU  
HORIZONTAL DENGAN AIRFOIL NACA 4415  
MENGUNAKAN *BLADE ELEMENT MOMENTUM* (BEM)  
DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Telah dikoreksi dan diperbaiki oleh penulis berdasarkan arahan dosen pembimbing.

Pembimbing I



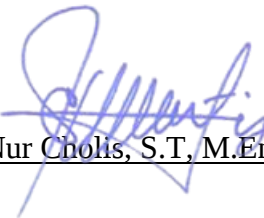
Dr. Damora Rhakasywi, S.T., M.T., IPP

Pembimbing II



Fahrudin, S.T., M.T.

Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin



Nur Cholís, S.T., M.Eng

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Proposal skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Reva Mazini

NIM : 1710311004

Program Studi : Teknik Mesin

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 19 Juli 2021

Yang menyatakan,



(Reva Mazini)

## **PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta,  
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reva Mazini  
NIM : 1710311004  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISIS SIMULASI EFISIENSI TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL  
AIRFOIL NACA 4415 MENGGUNAKAN *BLADE ELEMENT MOMENTUM*  
(BEM) DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mengaplikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada Tanggal : 19 Juli 2021

Yang menyatakan



Reva Mazini

# **ANALISIS SIMULASI EFISIENSI TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL AIRFOIL NACA 4415 MENGGUNAKAN *BLADE ELEMENT MOMENTUM (BEM)* DAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)***

**Reva Mazini**

## **ABSTRAK**

Energi merupakan salah satu faktor penting bagi pembangunan sosial ekonomi. Tingkat konsumsi energi oleh suatu negara sering kali mencerminkan tingkat kemakmuran yang dapat dicapai. Angin merupakan solusi dari energi alternatif dan energi terbarukan, dengan pertimbangan angin merupakan sumber daya alam yang tak terbatas dan ramah lingkungan. Turbin angin yang digunakan untuk analisa adalah turbin angin sumbu horizontal. Analisa efisiensi turbin angin ini digunakan metode simulasi *Blade Element Momentum (BEM)* dan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Airfoil NACA 4415 digunakan sebagai bentuk geometri dari bilah turbin angin, sehingga airfoil ini merupakan bagian dari objek simulasi untuk mengetahui karakteristik aerodinamika pada bilah turbin angin. Dengan efisiensi  $C_p$  (*Coefficient of power*) dari hasil kedua simulasi pada variasi kecepatan angin 4m/s, 6m/s, 8m/s, 10m/s dan 12m/s. Pada kecepatan angin 12 m/s dengan kecepatan putar 600 rpm didapatkan  $C_p$  sebesar 0.524 dari CFD dan 0.523 dari BEM dengan daya yang didapat 1118.47 watt pada CFD dan 1115 watt pada BEM

**Kata Kunci :** TASH, NACA 4415, Efisiensi, CFD, BEM

# **ANALYSIS SIMULATION EFFICIENCY OF HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE NACA AIRFOIL 4415 USING BLADE ELEMENT MOMENTUM (BEM) AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

**Reva Mazini**

## **ABSTRACT**

*Energy is one of the important factors for socio-economic development. The level of energy consumption by a country often reflects the level of prosperity that can be achieved. Wind is a solution for alternative energy and renewable energy, with the consideration that wind is an unlimited natural resource and is environmentally friendly. The wind turbine used for analysis is a horizontal axis wind turbine. Analysis of the efficiency of this wind turbine used Blade Element Momentum (BEM) and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation methods. The NACA 4415 airfoil is used as the geometric shape of the wind turbine blades, so this airfoil is part of the simulation object to determine the aerodynamic characteristics of the wind turbine blades. With the efficiency of  $C_p$  (Coefficient of power) from the results of the two simulations at wind speed variations of 4m/s, 6m/s, 8m/s, 10m/s and 12m/s. At a wind speed of 12 m/s with a rotational speed of 600 rpm,  $C_p$  of 0.524 from CFD and 0.523 from BEM was obtained and a power obtained of 1118.47 watts on CFD and 1115 watts from BEM.*

**Keywords :** TASH, NACA 4415, Efficiency, CFD, BEM

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat dan karunia-Nya kepada kita sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Simulasi Efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal Airfoil NACA 4415 Menggunakan *Blade Element Momentum* (BEM) DAN *Computational Fluid Dynamics* (CFD)” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi bertujuan untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Universitas Pembangunan Veteran Jakarta (UPNVJ).

Dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan dorongan dan bantuan baik dari segi materil maupun non materil sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik dalam waktu yang telah ditentukan. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-nya penyusun masih diberikan kemampuan untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, dan semangat kepada penulis.
3. Bapak Nur Cholis selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
4. Bapak Damora dan Bapak Fahrudin selaku dosen Program Studi Teknik Mesin di Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta dan dosen pembimbing skripsi yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan ini.
5. Seluruh teman-teman Teknik Mesin yang selalu memberikan dukungan serta motivasi dalam penulisan skripsi ini.
6. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa dituliskan penulis satu per satu yang telah membantu selama pembuatan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis memohon maaf kepada para pembaca jika terdapat kekurangan atau kesalahan. Penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Jakarta, 19 Juli 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL .....                                                          | i    |
| PENGESAHAN PENGUJI .....                                                     | iii  |
| PENGESAHAN PEMBIMBING .....                                                  | iv   |
| PERNYATAAN ORISINALITAS.....                                                 | v    |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK<br>KEPENTINGAN AKADEMIS ..... | vi   |
| ABSTRAK .....                                                                | vii  |
| ABSTRACT .....                                                               | viii |
| KATA PENGANTAR.....                                                          | ix   |
| DAFTAR ISI.....                                                              | xi   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                           | xiv  |
| DAFTAR TABEL .....                                                           | xvi  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                        | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN.....                                                       | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                                                    | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                                                   | 3    |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                                                  | 3    |
| 1.4. Batasan Masalah.....                                                    | 4    |
| 1.5. Sistematika Penulisan.....                                              | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                                 | 6    |
| 2.1. Turbin Angin .....                                                      | 6    |
| 2.2. Klasifikasi Turbin Angin.....                                           | 7    |
| 2.2.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) .....                            | 7    |
| 2.2.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) .....                              | 8    |
| 2.3. Bilah .....                                                             | 9    |

|                                          |                                                                   |           |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.1.                                   | Airfoil.....                                                      | 10        |
| 2.3.2.                                   | Gaya Angkat ( <i>lift</i> ) dan Gaya Hambat ( <i>drag</i> ) ..... | 11        |
| 2.3.3.                                   | <i>Coefficient of Power</i> ( $C_P$ ).....                        | 12        |
| 2.3.4.                                   | Tip Speed Ratio (TSR).....                                        | 12        |
| 2.4.                                     | Teori <i>Blade Element Momentum</i> .....                         | 13        |
| 2.5.                                     | <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) .....                   | 14        |
| 2.5.1.                                   | Tahapan Proses CFD .....                                          | 15        |
| 2.5.2.                                   | <i>Mesh</i> .....                                                 | 16        |
| 2.5.3.                                   | <i>Mesh Independent Test</i> .....                                | 19        |
| 2.5.4.                                   | Metode Volume Hingga ( <i>Finite Volume Method</i> ) .....        | 20        |
| 2.5.5.                                   | Model Matematika Turbulensi.....                                  | 21        |
| 2.5.6.                                   | Hukum Benturan Gesekan .....                                      | 22        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>   |                                                                   | <b>23</b> |
| 3.1.                                     | Tempat dan Waktu Penelitian .....                                 | 23        |
| 3.2.                                     | Software yang digunakan .....                                     | 23        |
| 3.3.                                     | Metode Simulasi.....                                              | 25        |
| 3.3.1.                                   | <i>Blade Element Momentum</i> (BEM).....                          | 25        |
| 3.3.2.                                   | <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....                    | 27        |
| 3.4.                                     | Parameter Simulasi.....                                           | 30        |
| 3.5.                                     | Pengambilan Data.....                                             | 31        |
| 3.6.                                     | Diagram Alir.....                                                 | 32        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |                                                                   | <b>33</b> |
| 4.1.                                     | Geometri Bilah .....                                              | 33        |
| 4.2.                                     | <i>Mesh Independence Test</i> .....                               | 35        |
| 4.3.                                     | Simulasi Airfoil NACA 4415.....                                   | 38        |
| 4.4.                                     | Simulasi 3D Bilah Turbin Angin.....                               | 44        |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b> | <b>53</b> |
|-----------------------------------------|-----------|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan..... | 53 |
|----------------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 5.2. Saran ..... | 54 |
|------------------|----|

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **RIWAYAT HIDUP**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Prinsip kerja turbin angin .....                                                                 | 6  |
| Gambar 2. 2 Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah bilah.....                                      | 7  |
| Gambar 2. 3 Jenis turbin angin sumbu vertikal berdasarkan tipe rotor .....                                   | 9  |
| Gambar 2. 4 Geometri airfoil .....                                                                           | 11 |
| Gambar 2. 5 Mesh terstruktur 2D .....                                                                        | 17 |
| Gambar 2. 6 Contoh mesh tidak terstruktur .....                                                              | 18 |
| Gambar 2. 7 Contoh hybrid mesh .....                                                                         | 19 |
| Gambar 3. 1 Tampilan software BEM yang digunakan.....                                                        | 24 |
| Gambar 3. 2 Tampilan software CFD yang digunakan.....                                                        | 25 |
| Gambar 3. 3 Geometri NACA 4415 pada software BEM yang digunakan .....                                        | 26 |
| Gambar 3. 4 Model bilah turbin angin pada software BEM .....                                                 | 27 |
| Gambar 3. 5 (a) Permodelan 2D, dan (b) Permodelan 3D .....                                                   | 28 |
| Gambar 4. 1 (a) Mesh M1, (b) Mesh M2, (c) Mesh M3 .....                                                      | 36 |
| Gambar 4. 2 (a) Mesh M4, (b) Mesh M5, (c) Mesh M6 .....                                                      | 38 |
| Gambar 4. 3 Kontur tekanan (kiri) dan kontur kecepatan angin (kanan) pada sudut<br>serang $-5^{\circ}$ ..... | 39 |
| Gambar 4. 4 Kontur tekanan (kiri) dan kontur kecepatan angin (kanan) pada sudut<br>serang $0^{\circ}$ .....  | 39 |
| Gambar 4. 5 Kontur tekanan (kiri) dan kontur kecepatan angin (kanan) pada sudut<br>serang $5^{\circ}$ .....  | 40 |
| Gambar 4. 6 Kontur tekanan (kiri) dan kontur kecepatan angin (kanan) pada sudut<br>serang $10^{\circ}$ ..... | 40 |
| Gambar 4. 7 Grafik perbandingan nilai koefisien angkat terhadap sudut serang .                               | 42 |
| Gambar 4. 8 Grafik perbandingan nilai koefisien hambat terhadap sudut serang                                 | 43 |
| Gambar 4. 9 Grafik perbandingan nilai $Cl/Cd$ terhadap sudut serang .....                                    | 44 |
| Gambar 4. 10 Perbandingan torsi dengan simulasi CFD dan BEM.....                                             | 45 |
| Gambar 4. 11 Perbandingan daya mekanik turbin dengan simulasi CFD dan BEM<br>.....                           | 45 |
| Gambar 4. 12 Perbandingan koefisien daya dengan simulasi CFD dan BEM .....                                   | 46 |
| Gambar 4. 13 (a) Kontur kecepatan dan (b) Vektor Kecepatan pada kecepatan angin<br>4 m/s.....                | 47 |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 14 (a) Kontur kecepatan dan (b) Vektor kecepatan pada kecepatan angin<br>6 m/s.....  | 48 |
| Gambar 4. 15 (a) Kontur kecepatan dan (b) Vektor kecepatan pada kecepatan angin<br>8 m/s.....  | 49 |
| Gambar 4. 16 (a) Kontur kecepatan dan (b) Vektor kecepatan pada kecepatan angin<br>10 m/s..... | 50 |
| Gambar 4. 17 (a) Kontur kecepatan dan (b) Vektor kecepatan pada kecepatan angin<br>12 m/s..... | 51 |

## DAFTAR TABEL

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Variasi ukuran mesh.....                           | 19 |
| Tabel 3. 1 Geometri bilah turbin (BEM).....                   | 26 |
| Tabel 3. 2 Parameter BEM.....                                 | 30 |
| Tabel 3. 3 Parameter simulasi airfoil 2D pada CFD .....       | 30 |
| Tabel 3. 4 Parameter simulasi turbin angin 3D pada CFD .....  | 31 |
| Tabel 4. 1 Data Perancangan Geometri Bilah Turbin Angin ..... | 33 |
| Tabel 4. 2 Geometri bilah tipe taperless.....                 | 34 |
| Tabel 4. 3 Data Perbandingan Variasi Mesh Simulasi 2D.....    | 35 |
| Tabel 4. 4 Data Perbandingan Variasi Mesh Simulasi 3D.....    | 37 |
| Tabel 4. 5 Data Hasil Simulasi CFD dan BEM .....              | 41 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1 Koordinat Airfoil NACA 4415

LAMPIRAN 2 Gambar Teknik Bilah Turbin Angin

LAMPIRAN 3 Perhitungan Pada Kecepatan 4 m/s

LAMPIRAN 4 Perhitungan Pada Kecepatan 6 m/s

LAMPIRAN 5 Perhitungan Pada Kecepatan 8 m/s

LAMPIRAN 6 Perhitungan Pada Kecepatan 10 m/s

LAMPIRAN 7 Perhitungan Pada Kecepatan 12 m/s

LAMPIRAN 8 Tabel hasil simulasi bilah turbin angin