UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Numerik Performa Aerodinamis Turbin Angin Contra-Rotating Sumbu Horizontal Menggunakan Metode
6DOF Dynamic Mesh dan Moving Reference Frame**
Rizqi Raihan, Dr.-Ing. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA i
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING iii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI v
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR vi
HALAMAN PERSEMBAHAN vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL xix
DAFTAR LAMPIRAN xx
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xxii
INTISARI xxiv
ABSTRACT xxv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terdahulu Tentang CRWT 5
2.2 Pengaruh Konfigurasi Rotor pada CRWT 9
2.3 Pemilihan *Airfoil* 13
2.4 Penelitian Terdahulu Terkait Simulasi *Dynamic Mesh* di Turbin Angin 16
2.5 Penelitian Terdahulu Terkait *Moving Reference Frame* di Turbin Angin 17
2.6 Posisi Penelitian 19
BAB III DASAR TEORI 21
3.1 Energi Angin 21

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Numerik Performa Aerodinamis Turbin Angin Contra-Rotating Sumbu Horizontal Menggunakan Metode
6DOF Dynamic Mesh dan Moving Reference Frame**
Rizqi Raihan, Dr.-Ing. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2 Potensi Energi Angin 22
3.2.1 Pemetaan Awal 22
3.2.2 Studi Literatur Potensi Energi Angin di Lokasi 23
3.2.3 Pengukuran Langsung Kecepatan Angin 25
3.3 Turbin Angin 26
3.3.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) 26
3.3.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT) 28
3.4 Metode *Blade Element Momentum* (BEM) 30
3.5 Aerodinamika *Airfoil* pada Bilangan Reynolds Rendah 34
3.5.1 Bilangan Reynolds 35
3.5.2 Pengaruh Bilangan Reynolds terhadap *Boundary Layer* 35
3.5.3 Kurva C_L, $C_{D,}$ dan rasio L/D terhadap Sudut Serang 36
3.5.4 Karakteristik *Stall* pada Re Rendah 36
3.5.5 Profil *Airfoil* SG6043 37
3.6 *Governing Equations* 38
3.6.1 *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS) 38
3.6.2 *Unsteady* RANS (URANS) 39
3.7 Model Turbulensi K- ω *Shear Stress Transport* (SST) 40
3.7.1 Persamaan Energi Kinetik Turbulen (*k*) dan Laju Disipasi Spesifik (ω) 40
3.7.2 Keunggulan Model k-omega untuk Turbin Angin 42
3.8 *Finite Volume Method* (FVM) 42
3.8.1 Prinsip Dasar Metode FVM 43
3.8.2 Diskritisasi Spasial dan *Coupling Pressure-Velocity* 43
3.8.3 Diskritisasi Temporal untuk Simulasi *Transient* 45
3.8.4 Kriteria Konvergensi 46
3.9 Kualitas *Mesh* dalam CFD 46

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Performa Aerodinamis Turbin Angin Contra-Rotating Sumbu Horizontal Menggunakan Metode 6DOF Dynamic Mesh dan Moving Reference Frame
Rizqi Raihan, Dr.-Ing. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.9.1 Pentingnya Kualitas *Mesh* 47
3.9.2 Metrik Kualitas *Mesh* 47
3.9.3 Uji Independensi *Mesh* (*Mesh Independence Test)* 49
3.10 Metode *Dynamic Mesh* dan *Solver* 6DOF (*Degree of Freedom*) 50
3.10.1 Prinsip Dasar *Dynamic Mesh* 50
3.10.2 Metode *Smoothing, Layering,* dan *Remeshing* 51
3.10.3 1DOF *Rotation* 52
3.10.4 Keseimbangan Torsi pada Rotor 53
3.10.5 Momen Inersia Bilah-Bilah Turbin Angin 54
3.11 *Moving Reference Frame* (MRF) 54
3.11.1 Prinsip Dasar 55
3.11.2 Prosedur Variasi RPM Berdasarkan Hasil Simulasi *Transient* 56
3.11.3 Ekstraksi Torsi dan Perhitungan Daya Mekanik 56
3.11.4 Penentuan *Maximum Power Point* dan C_P 57
3.12 Fenomena *Wake Deficit* pada CRWT 58
3.12.1 Profil Kecepatan Aksial di Belakang Rotor Depan 58
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 59
4.1 Diagram Alir Keseluruhan Penelitian 59
4.1.1 Diagram Alir Simulasi *Transient* 60
4.1.2 Diagram Alir Simulasi *Steady State* MRF 62
4.2 Alat dan Bahan 63
4.2.1 Perangkat Keras 63
4.2.2 Perangkat Lunak 64
4.2.3 Data Pendukung 65
4.3 Pengambilan Data Angin Lapangan 65
4.4 Perancangan Geometri Rotor Awal 67
4.4.1 Penentuan Parameter Awal 67

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Performa Aerodinamis Turbin Angin Contra-Rotating Sumbu Horizontal Menggunakan Metode 6DOF Dynamic Mesh dan Moving Reference Frame
Rizqi Raihan, Dr.-Ing. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.2 Perancangan Bilah Rotor Depan di QBlade 68
4.4.3 Ekstraksi Properti Inersia Rotor Depan 69
4.4.4 Pemodelan 3D di Autodesk Inventor Professional 2025 70
4.5 Simulasi *Transient* 70
4.5.1 Pembuatan *Domain* Komputasi 71
4.5.2 *Meshing* 72
4.5.3 Pengaturan *Boundary Conditions* 74
4.5.4 Pengaturan Metode *Dynamic Mesh* 74
4.5.5 Pengaturan *Solver* dan *Timestep* 75
4.6 Perancangan Geometri Rotor Belakang 76
4.6.1 Penentuan Parameter Awal 76
4.6.2 Perancangan Bilah Rotor Belakang di QBlade 77
4.6.3 Ekstraksi Properti Inersia dan Pemodelan 3D 77
4.7 *Assembly* Dua Konfigurasi CRWT 78
4.7.1 *Assembly* Konfigurasi CRWT 2 78
4.7.2 *Assembly* Konfigurasi Geometri CRWT 3 79
4.8 Validasi Metode Numerik 79
4.8.1 Validasi Metode *Dynamic Mesh* 79
4.8.2 Validasi Metode *Steady State* MRF 80
4.9 *Mesh Independence Test* 81
4.9.1 Uji Independensi *Mesh* untuk CRWT 2 81
4.9.2 Uji Independensi *Mesh* untuk CRWT 3 82
4.10 Simulasi *Transient* untuk Kedua Konfigurasi 82
4.11 Simulasi *Steady-State* MRF untuk Kedua Konfigurasi 82
4.12 Metode Pengolahan dan Analisis Data 83
4.12.1 Konversi Data Sudut Posisi menjadi RPM 83
4.12.2 Penyusunan Kurva Daya terhadap RPM 84

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Performa Aerodinamis Turbin Angin Contra-Rotating Sumbu Horizontal Menggunakan Metode 6DOF Dynamic Mesh dan Moving Reference Frame
Rizqi Raihan, Dr.-Ing. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.12.3 Penentuan *Maximum Power Point* (MPP) 84
4.12.4 Perhitungan Koefisien Daya 84
4.12.5 Analisis Komparatif Kedua Konfigurasi 85
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 86
5.1 Distribusi Kecepatan *Wake* Rotor Depan 86
5.2 Geometri Rotor 87
5.2.1 Rotor Kecil 88
5.2.2 Rotor Besar 90
5.3 Variasi Konfigurasi Geometri CRWT 93
5.3.1 Konfigurasi Geometri CRWT 1 93
5.3.2 Konfigurasi Geometri CRWT 2 94
5.3.3 Konfigurasi Geometri CRWT 3 94
5.4 Hasil Validasi Metode 95
5.4.1 Validasi Metode *Dynamic Mesh* 95
5.4.2 Validasi Metode *Steady-state* MRF 96
5.5 Hasil Uji Independensi *Mesh* 97
5.5.1 Uji Independensi *Mesh* – Konfigurasi CRWT 1 97
5.5.2 Uji Independensi *Mesh* – Konfigurasi CRWT 2 98
5.5.3 Uji Independensi *Mesh* – Konfigurasi CRWT 3 98
5.6 Hasil Simulasi *Transient* 99
5.6.1 Konfigurasi CRWT 1 99
5.6.2 Konfigurasi CRWT 2 102
5.6.3 Konfigurasi CRWT 3 105
5.7 Hasil Simulasi *Steady-state* MRF 107
5.7.1 Konfigurasi CRWT 1 108
5.7.2 Konfigurasi CRWT 2 109
5.7.3 Konfigurasi CRWT 3 111

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Performa Aerodinamis Turbin Angin Contra-Rotating Sumbu Horizontal Menggunakan Metode 6DOF Dynamic Mesh dan Moving Reference Frame
Rizqi Raihan, Dr.-Ing. Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.8 Analisis Distribusi Gaya pada Penampang Bilah 113
5.8.1 Konfigurasi CRWT 1 113
5.8.3 Konfigurasi CRWT 3 118
5.9 Komparasi Performa Ketiga Konfigurasi 120
5.9.1 Perbandingan Daya Mekanik Total Sistem 120
5.9.2 Perbandingan *Coefficient of Power* 122
BAB VI PENUTUP 118
6.1 Kesimpulan 118
6.2 Saran 119
DAFTAR PUSTAKA 120
LAMPIRAN 123