ANALISA PERFORMANSI DESAIN SCREW TURBINE DENGAN MODIFIKASI PENAMBAHAN FLAPS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

NOERENDIK FUATHUR FARHAN
NRP. 04211740000011

PEMBIMBING:
JUNIARKO PRANANDA, S.T., M.T.
Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PERFORMANSI DESAIN SCREW TURBINE DENGAN MODIFIKASI PENAMBAHAN FLAPS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

NOERENDIK FUATHUR FARHAN
NRP. 04211740000011

SUPERVISORS:
JUNIARKO PRANANDA, S.T., M.T.
Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

"Dengan ini kami menyatakan bahwa kami telah membaca Tugas Akhir ini dan dalam penilaian kami Tugas Akhir ini cukup memadai dari segi ruang lingkup dan kualitas untuk mendapatkan gelar
Sarjana Teknik."

Tanda Tangan : .....
Pembimbing I : JUNIARKO PRANANDA, S.T., M.T.
NIP./NPP. : 199006052015041001
Tanggal : 24 AGUSTUS 2021

Tanda Tangan : .....
Pembimbing II : Dr. EDDY SETYO KOENHARDONO, S.T., M.Sc
NIP. /NPP. : 196807011995121001
Tanggal : 24 AGUSTUS 2021

Disahkan oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:

Tanda Tangan : .....
Nama : BENY CAHYONO, S.T., M.T., Ph.D
NIP./NPP. : 197903192008011008
Tanggal : 26 AGUSTUS 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PERFORMANSI DESAIN SCREW TURBINE DENGAN MODIFIKASI PENAMBAHAN FLAPS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

NOERENDIK FUATHUR FARHAN

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi
salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
26 Agustus 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

“Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul *Analisa Performansi Desain Screw turbine Dengan Modifikasi Penambahan Flaps Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics* ini adalah hasil penelitian saya sendiri kecuali kutipan yang tercantum dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini belum diterima untuk gelar apapun dan tidak secara bersamaan diserahkan untuk pencalonan gelar lainnya.”

Tanda Tangan	: ……..……
Nama	: NOERENDIK FUATHUR FARHAN
NRP.	: 04211740000011
Tanggal	: 24 AGUSTUS 2021

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGHARGAAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Analisa Performansi Desain Screw turbine Dengan Modifikasi Penambahan Flaps Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics". Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui desain simulasi dari screw turbine sehingga dapat mengekstraksi energi angin dan juga untuk mengetahui performansi desain screw turbine dengan penambahan flaps menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics, serta* disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai salah satu solusi energi alternatif bagi masyarakat melalui penerapan energi terbarukan dalam bentuk pembangkit listrik tenaga angin dan juga sebagai referensi tentang riset dan pengembangan dari *screw turbin*e untuk mengekstraksi angin.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Orang tua tercinta, ayahanda almarhum bapak Parman dan mama Hari Wahyuni yang memberikan kasih sayang, doa, motivasi dan dukungan kepada saya;
3. Keluarga tercinta, kakak Didik Sudarsono, Eni Astuti, Novita Hariyanti, Deviari Restiningtiyas dan adik Syahnas Rahmat Farendino yang memberikan doa, dukungan dan motivasi;
4. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. dan bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, ilmu, perhatian, pengertian, motivasi, dukungan dan saran sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan;
5. Bapak Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc., bapak Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M.Eng., D.Eng., bapak Dr. Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc. dan bapak Dr. Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T. sebagai dosen penguji sekaligus dosen laboratorium

Marine Electrical and Automation System yang telah memberikan kritik dan sara demi tugas akhir ini menjadi lebih baik;

6. Partner bimbingan tugas akhir Amal Mulya Setiawan dan Sulisetyo Mei Wulansari yang memberikan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Member laboratorium *Marine Marine Electrical and Automation System* Teknik Sistem Perkapalan;
8. Partner saya tercinta Fitria Arifka Rahman yang memberikan semangat, doa, motivasi, dukungan, kritik dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
9. Teman-teman Badrikara 2017 atas bantuan, kerjasama dan kebersamaanya selama ini;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan kegiatan penelitian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahawa tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi penelitian tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga dengan adanya penulisan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan energi baru terbarukan.

Surabaya

Penulis

ABSTRAK

Energi baru terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sumber energi listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu energi angin. Dikarenakan posisi Indonesia yang berada di khatulistiwa karakteristik angin yang ada relatif menengah dengan pergerakan arah angin dan kecepatan angin yang berubah-ubah. Sehingga diperlukan diversifikasi jenis turbin angin untuk mengekstraksi energi angin. Turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan *screw turbine* atau *archimedes screw turbine* atau turbin ulir yang biasa digunakan untuk pembangkit listrik mikrohidro. Kelebihan dari turbin ini yaitu memiliki efisiensi yang tinggi. Screw turbine ini akan menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Penggunaan sumbu horizontal memiliki kelebihan yaitu efisiensi yang dihasilkan rotor lebih tinggi jika dibandingkan tipe vertikal. Pada penelitian ini *screw turbine* dimodifikasi dengan penambahan flaps pada ulir turbin dengan tujuan agar dapat meningkatkan meningkatkan performansi torsi dan rpm serta daya tangkapan angin yang lebih. Pada kecepatan aliran udara 3.4 m/s hasil yang didapatkan dari simulasi model menggunakan CFD menunjukkan bahwa desain model dengan penambahan flaps 3 cm dengan sudut flaps 30° memiliki torsi dan kecepatan sudut yang tinggi dengan nilai torsi 0.00609 Nm dan kecepatan sudut 12.55 rad/s (119.84 RPM). Sehingga didapatkan nilai *Power Coefficient* (CP) 0.00659, *Torque Coefficient* (C_Q) 0.01990 dan *Tip Speed Ratio* (TSR) 0.331357.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Renewable energy is an alternative energy source that can be used to produce electrical energy sources. One of the renewable energy sources is wind energy. Due to Indonesia's position at the equator, the wind characteristics are relatively medium with the movement of wind direction and wind speed changing. So it is necessary to diversify the types of wind turbines to extract wind energy. The wind turbine used in this study is a screw turbine or Archimedes screw turbine or a screw turbine which is commonly used for micro hydro power plants. The advantage of this turbine is that it has high efficiency. This screw turbine will use a Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT). The use of the horizontal axis has the advantage that the efficiency of the rotor is higher than the vertical type. In this study, the screw turbine was modified with the addition of flaps on the screw turbine in order to increase the torque and rpm performance as well as more wind catchment. At air flow velocity of 3.4 m/s the results obtained from model simulation using CFD show that the model design with the addition of 3 cm flaps with a flap angle of 30° has a high torque and angular velocity with a torque value of 0.00609 Nm and an angular velocity of 12.55 rad/s (119,84 RPM) . So that the value of Power Coefficient (CP) is 0.00659, Torque Coefficient (CQ) is 0.01990 and Tip Speed Ratio (TSR) is 0.331357.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....iii
PENGHARGAAN iv
ABSTRAK vi
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR SINGKATAN xviii
DAFTAR SIMBOL xx
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Penelitian 1
1.2 Pernyataan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA 5
2.1 Pendahuluan 5
2.2 Studi Terkait 5
2.3 Energi Angin 11
2.4 Turbin Angin 14
2.5 Flaps Turbin 14
2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD) 14
2.7 Software yang Digunakan Dalam Penelitian 15
2.8 Parameter Perfoma Turbin 15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 19
3.1 Pendahuluan 19
3.2 Diagram Alir Penelitian 19
3.3 Studi Literatur 20
3.4 Perumusan Masalah 21
3.5 Desain Screw turbine 21
3.6 Pembuatan Desain 3 Dimensi dari Screw turbine 22
3.7 Simulasi CFD Menggunakan NUMECA Pada Seluruh Variasi Model *Screw turbine* 22
3.8 Analisa Data dan Perhitungan Performansi yang Dihasilkan Berdasarkan Data Simulasi 25
3.9 Kesimpulan dan Saran 25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Pendahuluan 27
4.2 Desain *Screw turbine* (Dimensi, Material, Center of Gravity) 27
4.2.1 Dimensi *Screw turbine* 27

4.2.2 Material Turbin 28
4.3 Model 3D *Screw turbine* yang Dibuat Menggunakan Solidworks.....28
4.3.1 Model 3 Dimensi.....28
4.3.2 Analisa *Center of Gravity Turbine* 33
4.4 Simulasi Model Screw turbine.....41
4.4.1 Domain Model 41
4.4.2 Meshing Model 42
4.4.3 Running Simulasi Menggunakan Numeca Fine Marine 43
4.5 Hasil Simulasi Torsi dan Kecepatan Sudut Pada Setiap Model Variasi ..53
4.5.1 Hasil Simulasi Model 1 Tanpa Flaps.....53
4.5.2 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 2 cm 15° 54
4.5.3 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 2 cm 30° 56
4.5.4 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 2 cm 45° 57
4.5.5 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 15° 58
4.5.6 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 30° 59
4.5.7 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 45° 60
4.5.8 Hasil Simulasi Model 2 Tanpa Flaps.....61
4.5.9 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 2 cm 15° 62
4.5.10 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 2 cm 30° 64
4.5.11 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 2 cm 45° 65
4.5.12 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 3 cm 15° 66
4.5.13 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 3 cm 30° 67
4.5.14 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 3 cm 45° 68
4.6 Analisa Hasil Simulasi 70
4.6.1 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 1 Flaps 2 cm 70
4.6.2 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 1 Flaps 3 cm 77
4.6.3 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 2 Flaps 2 cm 84
4.6.4 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 2 Flaps 3 cm 91
4.7 Komparasi Hasil Simulasi *Screw Turbin*.....101
4.8 Pengaplikasian Model 1 Flaps 3 cm 30° Jari-Jari Ulir 15 cm 102
BAB 5 KESIMPULAN.....105
5.1 Gambaran Umum Penelitian.....105
5.2 Kesimpulan 106
5.3 Saran 106
DAFTAR PUSTAKA 109
Lampiran 111
BIODATA PENULIS 113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel dimensi desain lab dan prototype (Lyons and Lubitz, 2013b) 7
Tabel 2.2 Dimensi dan Parameter AST (Saroinsong *et al.*, 2016)..... 8
Tabel 2.3 Tabel dimensi dan parameter dari Screw turbine(Erinofiardi *et al.*, 2017)..... 9
Tabel 2.4 *Geometrical parameters and flow conditions*(Dellinger *et al.*, 2018) 10
Tabel 2.5 Skala Beaufort (Drs. Soerjadi Wirjohamidjojo dan and Sugarin, 2008)..... 11
Tabel 3.1 Parameter dan Dimensi Desain Model *Screw turbine* 21
Tabel 4.1 Center of Gravity Pada Setiap Model Variasi Turbin 40
Tabel 4.2 Jumlah Cell Tiap Pada Setiap Model Variasi Turbin 42
Tabel 4.3 Validasi Meshing 52
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Torsi dan Kecepatan Sudut pada Setiap Model Variasi Turbin 69
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps..... 70
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps..... 71
Tabel 4.7 Nilai Cp Model 1 Flaps 2 cm 72
Tabel 4.8 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 1 Flaps 2 cm 73
Tabel 4.9 Nilai C_Q Model 1 Flaps 2 cm 74
Tabel 4.10 Nilai TSR dan CP Model 1 Flaps 2 cm 75
Tabel 4.11 Nilai TSR dan CQ Model 1 Flaps 2 cm 76
Tabel 4.12 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps..... 77
Tabel 4.13 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps... 78
Tabel 4.14 Nilai Cp Model 1 Flaps 3 cm 79
Tabel 4.15 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 1 Flaps 3 cm..... 80
Tabel 4.16 Nilai C_Q Model 1 Flaps 3 cm 81
Tabel 4.17 Nilai TSR dan CP Model 1 Flaps 3 cm 82
Tabel 4.18 Nilai TSR dan CQ Model 1 Flaps 3 cm 83
Tabel 4.19 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps..... 84
Tabel 4.20 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps... 85
Tabel 4.21 Nilai Cp Model 2 Flaps 2 cm 86
Tabel 4.22 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 1 Flaps 3 cm..... 87
Tabel 4.23 Nilai C_Q Model 2 Flaps 2 cm 88
Tabel 4.24 Nilai TSR dan CP Model 2 Flaps 2 cm 89
Tabel 4.25 Nilai TSR dan CQ Model 2 Flaps 2 cm 90
Tabel 4.26 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps..... 91
Tabel 4.27 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps... 92
Tabel 4.28 Nilai Cp Model 2 Flaps 3 cm 93
Tabel 4.29 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 2 Flaps 3 cm..... 94
Tabel 4.30 Nilai C_Q Model 2 Flaps 3 cm 95
Tabel 4.31 Nilai TSR dan CP Model 2 Flaps 3 cm 96
Tabel 4.32 Nilai TSR dan CQ Model 2 Flaps 3 cm 97
Tabel 4.33 Nilai *Power, Cp, TSR dan* C_Q 100

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan efisiensi dengan load ratio(Lashofer, Hawle and Pelikan, 2012) 6
Gambar 2.2 Detail Gambar Desain ASG(Lyons and Lubitz, 2013b) 7
Gambar 2.3 Desain Three-Bladed AST (Saroinsong *et al.*, 2016) 8
Gambar 2.4 Detail gambar desain ASG(Dellinger *et al.*, 2018) 10
Gambar 2.5 Kurva Cp vs TSR (Manwell, McGowan and Rogers, 2010) 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 20
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pembuatan Model 3 Dimensi 22
Gambar 4.1 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 Tanpa Flaps 28
Gambar 4.2 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 15° 29
Gambar 4.3 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 30° 29
Gambar 4.4 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 45° 29
Gambar 4.5 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 15° 30
Gambar 4.6 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 30° 30
Gambar 4.7 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 45° 30
Gambar 4.8 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 Tanpa Flaps 31
Gambar 4.9 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 15° 31
Gambar 4.10 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 30° 31
Gambar 4.11 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 45° 32
Gambar 4.12 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 15° 32
Gambar 4.13 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 30° 32
Gambar 4.14 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 45° 33
Gambar 4.15 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 Tanpa Flaps 33
Gambar 4.16 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 15 derajat 34
Gambar 4.17 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 30 derajat 34

Gambar 4.18 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 45 derajat 35
Gambar 4.19 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 15 derajat 35
Gambar 4.20 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 30 derajat 36
Gambar 4.21 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 45 derajat 36
Gambar 4.22 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 Tanpa Flaps 37
Gambar 4.23 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 15 derajat 37
Gambar 4.24 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 30 derajat 38
Gambar 4.25 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 45 derajat 38
Gambar 4.26 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 15 derajat 39
Gambar 4.27 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 30 derajat 39
Gambar 4.28 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 45 derajat 40
Gambar 4.29 Ukuran Domain Model 41
Gambar 4.30 *General Parameters* 44
Gambar 4.31 *Fluid Model* 44
Gambar 4.32 *Flow Model Parameters* 45
Gambar 4.33 *Boundary Conditions Solid* 45
Gambar 4.34 *Boundary Conditions External* 46
Gambar 4.35 *Body Definiton* 46
Gambar 4.36 *Body Motion-Motion Definition* 47
Gambar 4.37 *Body Motion-Dynamic Parameters* 47
Gambar 4.38 *Mesh Management* 48
Gambar 4.39 *Initial Solution Parameters* 48
Gambar 4.40 *Control Variables* 49
Gambar 4.41 *Output Parameters-Motion & Force Varibles* 50
Gambar 4.42 *Output Parameters-Probe Variables* 50
Gambar 4.43 *Output Parameters-Optional Output Variables* 51
Gambar 4.44 *Output Parameters-Mean Flow Variables* 51
Gambar 4.45 Grafik Validasi Meshing 52
Gambar 4.46 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Tanpa Flaps 53
Gambar 4.47 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Tanpa Flaps 54
Gambar 4.48 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 2 cm 15° 55
Gambar 4.49 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 2 cm 15° 55
Gambar 4.50 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 2 cm 30° 56

Gambar 4.51 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 2 cm 30° 56
Gambar 4.52 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 2 cm 45° 57
Gambar 4.53 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 2 cm 45° 57
Gambar 4.54 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 3 cm 15° 58
Gambar 4.55 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 3 cm 15° 58
Gambar 4.56 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 3 cm 30° 59
Gambar 4.57 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 3 cm 30° 59
Gambar 4.58 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 3 cm 45° 60
Gambar 4.59 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 3 cm 45° 60
Gambar 4.60 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Tanpa Flaps 61
Gambar 4.61 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Tanpa Flaps 61
Gambar 4.62 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 2 cm 15° 62
Gambar 4.63 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 2 cm 15° 63
Gambar 4.64 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 2 cm 30° 64
Gambar 4.65 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 2 cm 30° 64
Gambar 4.66 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 2 cm 45° 65
Gambar 4.67 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 2 cm 45° 65
Gambar 4.68 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 3 cm 15° 66
Gambar 4.69 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 3 cm 15° 66
Gambar 4.70 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 3 cm 30° 67
Gambar 4.71 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 3 cm 30° 67
Gambar 4.72 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 3 cm 45° 68
Gambar 4.73 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 3 cm 45° 68
Gambar 4.74 Grafik Torsi Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps 71
Gambar 4.75 Grafik Putaran Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps 72
Gambar 4.76 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 1 Flaps 2 cm variasi sudut flaps 73
Gambar 4.77 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 1 Flaps 2 cm variasi sudut flaps .. 74
Gambar 4.78 Grafik *Torque Coefficient (C_Q)* Model 1 Flaps 2 cm variasi sudut flaps 75
Gambar 4.79 Grafik TSR vs CP Model 1 Flaps 2 cm 76
Gambar 4.80 Grafik TSR vs C_Q Model 1 Flaps 2 cm 77
Gambar 4.81 Grafik Torsi Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps 78
Gambar 4.82 Grafik Putaran Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps 79
Gambar 4.83 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 1 Flaps 3 cm variasi sudut flaps 80
Gambar 4.84 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 1 Flaps 3 cm variasi sudut flaps .. 81
Gambar 4.85 Grafik *Torque Coefficient (C_Q)* Model 1 Flaps 3 cm variasi sudut flaps 82
Gambar 4.86 Grafik TSR vs CP Model 1 Flaps 2 cm 83
Gambar 4.87 Grafik TSR vs C_Q Model 1 Flaps 3 cm 84
Gambar 4.88 Grafik Torsi Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps 85
Gambar 4.89 Grafik Putaran Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps 86
Gambar 4.90 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 2 Flaps 2 cm variasi sudut flaps 87
Gambar 4.91 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 2 Flaps 2 cm variasi sudut flaps .. 88
Gambar 4.92 Grafik *Torque Coefficient (C_Q)* Model 2 Flaps 2 cm variasi sudut flaps 89
Gambar 4.93 Grafik TSR vs CP Model 2 Flaps 2 cm 90

Gambar 4.94 Grafik TSR vs C_Q Model 2 Flaps 2 cm..... 91
Gambar 4.95 Grafik Torsi Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps 92
Gambar 4.96 Grafik Putaran Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps..... 93
Gambar 4.97 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 2 Flaps 3 cm variasi sudut flaps 94
Gambar 4.98 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 2 Flaps 3 cm variasi sudut flaps.. 95
Gambar 4.99 Grafik *Torque Coefficient (C_Q)* Model 2 Flaps 3 cm variasi sudut flaps 96
Gambar 4.100 Grafik TSR vs CP Model 2 Flaps 3 cm 97
Gambar 4.101 Grafik TSR vs C_Q Model 2 Flaps 3 cm 98
Gambar 4.102 Grafik Torsi Hasil Simulasi Variasi Seluruh Model..... 99
Gambar 4.103 Grafik Putaran Hasil Simulasi Variasi Seluruh Model 99
Gambar 4.104 Grafik Hasil Perhitungan Power Variasi Model *Screw Turbine* 100
Gambar 4.105 Peta maritim BMKG 102
Gambar 4.106 *Array* penempatan *screw turbine* di pesisir Pantai Remen Tuban Jawa Timur 103

DAFTAR SINGKATAN

ASG	*Archimedes Screw Generator*
AST	*Archimedes Screw turbine*
CFD	*Computational Fluid Dynamics*
C_P	*Power Coefficient*
C_Q	*Torque Coefficient*
EASM	*Explicit Algebraic Stress Model*
HAWT	*Horizontal Axis Wind Turbine*
Nm	*Newton meter*
Rad/s	*Radian per sekon*
RPM	*Revolutions Per Minute*
TSR	*Tip Speed Ratio*
VAWT	*Vertical Axis Wind Turbine*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

ρ	Massa jenis
ω	Kecepatan angular rotor turbin
λ	*Tip Speed Ratio*
Ω	Kecepatan angular rotor turbin
°	Derajat
A	*Torque Coefficient*
P	Daya yang diserap dari udara
T	Torsi yang dihasilkan rotor turbin
V	Kecepatan aliran fluida udara
W	Watt

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Energi baru terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sumber energi listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu energi angin. Dikarenakan posisi Indonesia yang berada di khatulistiwa karakteristik angin yang ada relatif menengah dengan pergerakan arah angin dan kecepatan angin yang berubah-ubah. Sehingga diperlukan diversifikasi jenis turbin angin untuk mengekstraksi energi angin. Turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan *screw turbine* atau *archimedes screw turbine* (AST) atau turbin ulir yang biasa digunakan untuk pembangkit listrik mikrohidro.

Penggunaan screw turbine untuk pembangkit listrik mikrohidro digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi. Pada beberapa studi eksperimen mengenai *screw turbine* atau ASG menunjukkan efisiensi tinggi dapat dicapai dan dipertahankan dengan mengatur arus air yang masuk melewati turbin (Dellinger *et al.*, 2018)(Lyons and Lubitz, 2013a). Berdasarkan data ASG menunjukkan efisiensi yang tinggi, sebuah ASG yang dikembangkan oleh Prof. Hiroshi Takimoto efisiensi yang dihasilkan sebesar 60% (Japan For Sustainability (JFS), 2008). (Brada, 1999), ASG dapat menghasilkan efisiensi operasional sebesar 80%. (Lashofer, Hawle and Pelikan, 2012) pada instalasi komersial ASG di Eropa efisiensi operasional rata-rata 69% dengan efisiensi maksimum lebih dari 75%. Dengan memiliki efisiensi yang tinggi merupakan kelebihan dari turbin mikrohidro ini.

Screw turbine ini akan menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Penggunaan sumbu horizontal memiliki kelebihan yaitu efisiensi yang dihasilkan rotor lebih tinggi jika dibandingkan tipe vertikal, turbin dapat diarahkan dengan arah datangnya angin dan mempunyai mekanisme perlindungan terhadap angin yang merusak(Hidayatullah and Ningrum, 2017). Sehingga penggunaan jenis turbin sumbu horizontal ini pada *screw turbine* ini dianggap sesuai untuk mendapatkan efisiensi yang

optimal. Dengan adanya perbedaan massa jenis air dengan udara perlu dilakukan suatu penambahan modifikasi untuk meningkatkan performansi torsi dan rpm serta daya tangkapan angin yang lebih, salah satu cara yang dapat digunakan yaitu dengan penambahan flaps.

Pada penelitian ini *screw turbine* akan dimodifikasi dengan penambahan flaps pada ulir turbin agar dapat meningkatkan performansi turbin ini dalam mengekstraksi energi angin. Penambahan flaps pada pesawat berfungsi untuk mengarahkan aliran udara sehingga terbukti mampu memberikan tambahan gaya angkat pada pesawat(Suyitmadi, 2000). Oleh karena itu penerapan penambahan flaps akan dianalisa performansinya dalam penelitian tugas akhir ini. Performansi dari screw turbine ini dapat dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*.

1.2 Pernyataan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana desain simulasi dari *screw turbine* sehingga dapat mengekstraksi energi angin?
2. Bagaimana analisa performansi desain dari *screw turbine* dengan penambahan flaps menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui desain simulasi dari *screw turbine* sehingga dapat mengekstraksi energi angin
2. Mengetahui performansi desain *screw turbine* dengan penambahan flaps menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan masalah didefinisikan supaya lingkup penelitian ini lebih fokus. Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Perancangan desain dari *screw turbine* menggunakan *software*;
2. Analisa performansi dan simulasi dari *screw turbine* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics;*
3. Kecepatan aliran udara 3.4 m/s dari arah sumbu x atau arah depan turbin;
4. Udara yang digunakan pada suhu 25° dengan tekanan 1 atm, *dynamic viscosity* 1.849 x 10^{-5} kg/ms, *density* 1.184 kg/m^3;
5. Ukuran flaps yang digunakan yaitu 2 cm dan 3 cm;
6. Sudut ulir yang digunakan 60° dan sudut flaps 15°, 30° dan 45°;
7. Tidak dilakukan kajian dari segi ekonomis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat

Memberikan salah satu solusi energi alternatif bagi masyarakat melalui penerapan energi terbarukan dalam bentuk pembangkit listrik tenaga angin

2. Bagi Akademisi

Sebagai referensi tentang riset dan pengembangan dari *screw turbin* untuk mengekstraksi angin.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

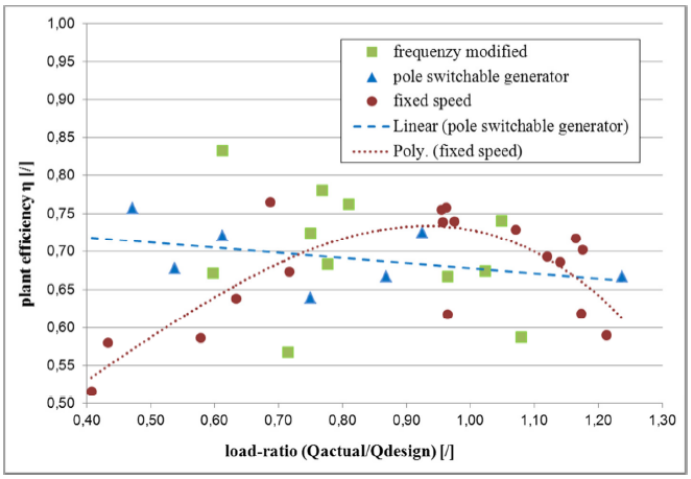
2.1 Pendahuluan

Penelitian memerlukan kajian berdasarkan studi literatur yang ada untuk memberikan gambaran penelitian yang pernah dilakukan mengenai *screw turbine* yang menjadi dasar pengembangan penelitian yang akan dilakukan. Diperlukan teori dasar dari *screw turbine* dan turbin angin sehingga dapat mempermudah pemahaman selama melakukan penelitian. Penentuan parameter-parameter dari *screw turbine* ini juga diperlukan untuk dapat melakukan perhitungan perfoma dari turbin serta simulasi desain yang akan dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

2.2 Studi Terkait

Studi ini merupakan salah satu studi literatur yang berguna untuk mengetahui penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang terkait dengan tema dari penelitian tugas akhir ini. Dengan mengetahui penelitian sebelumnya sehingga dapat berfungsi untuk memperkaya pembahasan penelitian dan membedakan penelitan sebelumnya dengan penelitian tugas akhir ini. Penelitian *screw turbine* yang pernah dilakukan antara lain :

1. Penelitian dengan judul *"State of Technology and Design Guidelines for The Archimedes Screw turbine"* yang diteliti oleh Alois Lashofer, Wener Hale, Irina Kampel, Florian Kaltenberger, Benhard Pelikan pada tahun 2012. Dalam penelitian ini melakukan *summary* dari perkembangan dan distribusi operasional *Archimedes Screw turbine (AST)* dengan membandingkan 3 control sistem pada berbagai pembangkit yaitu (1) *frequency modified-variable speed control,* (2) *pole - changing generator – phased control* (3) *Fixed speed/unregulated* dan dilakukan perhitungan *load ratio. Load ratio* didapatkan dengan hasil bagi aliran pada saat pengukuran dan aliran desain. Efisiensi rata-rata yang dihasilkan yaitu 69% dan beberapa menunjukkan efisiensi maksimum lebih dari 75%. Disebutkan juga bahwa *rotary screw* mempunyai performa dibawah desain *screw* umumnya.

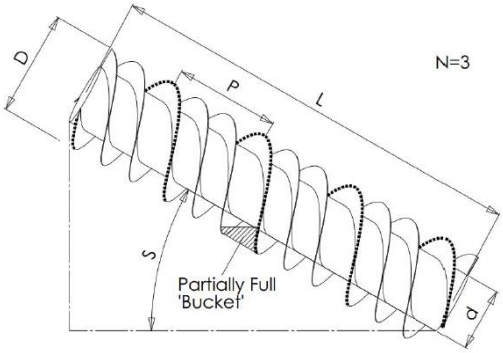


Gambar 2.1 Perbandingan efisiensi dengan load ratio(Lashofer, Hawle and Pelikan, 2012)

2. Penelitian dengan judul *"Archimedes Screws For Microhydro Power Generation"* yang diteliti oleh Murray Lyons dan William David Lubitz pada tahun 2013 di USA. Dalam penelitian ini dilakukan tes eksperimental menggunakan desain untuk percobaan di laboratorium dan *prototype Archimedes Screw Generator* (ASG) (dimensi seperti tabel 2.1 dan detail gambar seperti gambar 2.1) untuk mengetahui hubungan antara torsi, rpm dan daya dengan berbagai kondisi operasi yang berbeda yaitu ketinggian air di bagian *outlet* dan kecepatan aliran fluida. Pada penelitian ini menghasilkan bahwa efisiensi pada saat laboratorium tes yaitu 45% dan maksimum efisiensi yang dapat dicapai sekitar 70%. Sedangkan saat pengujian menggunakan *prototype* efisiensi yang didapatkan yaitu efisiensi rata-rata 50% dan efisiensi maksimum sekitar 69%.

Tabel 2.1 Tabel dimensi desain lab dan prototype (Lyons and Lubitz, 2013b)

Parameter	Lab ASG	Protoype ASG
Diameter (D)	14.6	59.95
P/D	1.0	1.72
d/D	0.522	0.54
Panjang / L (cm)	58.4	244.26
Jumlah heliks 3	3	3
Tingkat kemiringan (°)	22.7	22

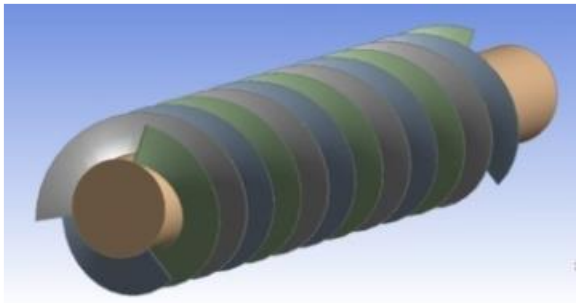


Gambar 2.2 Detail Gambar Desain ASG(Lyons and Lubitz, 2013b)

3. Penelitian dengan judul *"Fluid Flow Phenomenion in a Three-Bladed Power-Generating Archimedes Screw turbine"* yang diteliti oleh Tineke Saroinsong, Rudy Soenoko, Slamet Wahyudi dan Mega N Sasongko pada tahun 2016. Pada penelitian ini dilakukan studi eksperimental *Archimedes Screw turbine (AST)* mengenai daya yang dihasilkan oleh 3-*Bladed* AST dengan mengamati putaran dan torsi dari turbin. Parameter yaang diamati yaitu kedalaman aliran masuk, kecepatan aliran masuk dan kemiringa poros turbin (seperti tabel 2.3). Hasil dari penelitian ini menunjukkan efisiensi tertinggi dari turbin yaitu 89% dengan kemiringan poros turbin sebesar 25°, laju aliran 0.5 m/s.

Tabel 2.2 Dimensi dan Parameter AST (Saroinsong *et al.*, 2016)

Parameter	Value	Description
R_o	0.055 m	Outer radius
R_i	0.030 m	Inner radius
S	0.132 m	Pitch
N	3	Number of blades
m	21	Number of helix turns
β	30°	The angle of screw blade
λv	0.059	Normalized volume/turn
α	25°, 35°, 45°	Turbine shaft slope
H_o	½ R_o, 2/3 R_o, 1 R_o	Characteristic length
c_o	(0.3, 0.4, 0.5) m/s	Inflow velocity



Gambar 2.3 Desain Three-Bladed AST (Saroinsong *et al.*, 2016)

4. Penelitian dengan judul *"Experimental study of screw turbine performance based on different angle of inclination"* yang diteliti oleh Erinofiardi, Agus Nuramal, Putra Bismantolo, Abhijit Date, Aliakbar Akbarzadeh, Afdhal Kurniawan Mainil dan Ahmad Fauzan Suryono pada tahun 2017. Pada penelitian ini Erinofiardi et al, melakukan eksperimental untuk mengetahui

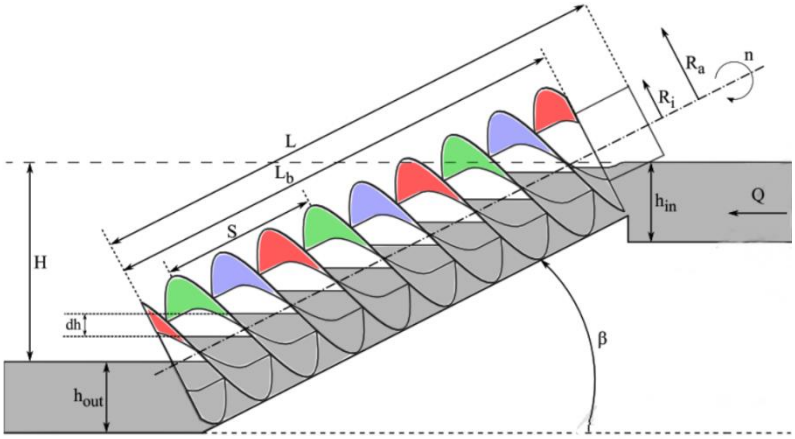
performa *screw turbine untuk ultra low head hydro*. Parameter yang digunakan model *screw turbine* ini (seperti pada tabel 2.2) yang menghasilkan daya maksimum 1.4 watt dengan efisiensi 49% pada sudut kemiringan 22°.

Tabel 2.3 Tabel dimensi dan parameter dari Screw turbine(Erinofiardi *et al.*, 2017)

Parameter	Variable	Value
Slope	B	22°, 30°, 40°
Outer diameter	Do	142 mm
Inner diameter	Di	32 mm
Pitch	P	54 mm
Number of screws	N	1
Gap width	Gw	5 mm
Screw length	L	646 mm
Flow rate	Q	1.2 l/s
Casing diameter	Dt	152 mm

5. Penelitian dengan judul *"Computational Fluid Dynamics Modeling for the Design of Archimedes Screw Generator"* yang diteliti oleh Guilhem Dellinger, Pierre-Andre Garambois, Nicolas Dellinger, Matthieu Dufresne, Abdelali Terfous, Jose Vazquez, Abdellah Ghenaim pada tahun 2017. Pada penelitian ini membahas mengenai kinerja ASG dengan menggunakan CFD untuk memperlajari struktur turbulen 3 dimensi arus dan *losses* energi pada *screw turbine* dengan parameter geometrik dan kondisi aliran (seperti tabel 2.2) dan

gambar desain (seperti gambar 2.2). Pada penelitian ini menghasilkan efisiensi dari ASG sebesar hampir 80%.



Gambar 2.4 Detail gambar desain ASG(Dellinger *et al.*, 2018)

Tabel 2.4 *Geometrical parameters and flow conditions*(Dellinger *et al.*, 2018)

Geometrical parameters	Outer radius screw – R_a (m)	0.096
	Inner radius screw – R_i (m)	0.052
	Pitch screw – S (m)	0.192
	Threaded length screw – L_B (m)	0.4
	Number of blades - N	3
	Max. gap between screw – S_{sp} (m)	0.001
	Inclination screw – β (°)	18…30
Flow Conditions	Rpm screw – n (rpm)	60…180
	Flow rate – Q (m3/s)	0.001…0.004

Berdasarkan studi terkait penelitian *screw turbine* diperoleh bahwa *screw turbine* untuk mikrohidro dengan fluida air. Pengembangan performa turbin ini dimulai dari dimensi turbin, variasi jumlah blade, variasi *slope*, kecepatan aliran fluida. Berdasarkan seluruh penelitian tersebut, diketahui bahwa belum ada pengembangan turbin ini pada fluida

udara atau angin. Berdasarkan hal tersebut pada penelitian tugas akhir ini akan menganalisa performansi dari *screw turbine* dengan aliran fluida udara..

2.3 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak akibat dari perbedaan tekanan udara, udara mengalir dari tekanan yang lebih tinggi menuju ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara dapat terjadi dikarenakan perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfir yang tidak merata oleh sinar matahari (Daryanto, 2007). Berdasarkan hubungan antara kecepatan dan kekuatan angin terdapat tabel skala Beaufort seperti dijelaskan pada tabel 2.5 (Drs. Soerjadi Wirjohamidjojo dan and Sugarin, 2008)

Tabel 2.5 Skala Beaufort (Drs. Soerjadi Wirjohamidjojo dan and Sugarin, 2008)

Skala	Tingkatan	Kecepatan (knot)	Kecepatam (m/s)	Kecepatan (km/jam)	Tanda-tanda di laut (L) dan di darat (D)
0	Tenang	<1	0 – 0,2	1	(L) t: laut seperti kaca (D) t: Tenang; asap mengepul vertikal
1	Teduh	1-3	0,3 – 1,5	1 – 5	(L): Berombak kecil, tidak tampak berbuih. (D): Asap mengepul miring, tetapi alat anemometer tidak berputar.
2	Sepoi lemah	4-6	1,6 – 3,3	6 – 11	(L): Berombak tetapi tidak terlihat pecah. (D) Terpaan angin terasa dimuka, anemometer berputar perlahan.

3	Sepoi lembut	7-10	3,4 – 5,4	12 – 19	(L): Berombak besar dan mulai ada pecah-pecah. (D): Daun-daun kecil dipohon bergerak; bendera dapat berkibar.
4	Sepoi sedang	11-16	5,5 – 7,9	20 – 28	(L): Gelombang kecil tetapi periodenya lama, tampak berbuih. (D) Debu dan kertas dapat terbang; ranting pohon bergerak.
5	Sepoi segar	17-21	8,0 – 10,7	29 – 38	(L): Gelombang sedang berbuih agak banyak (D): Pohon-pohon kecil terlihat condong. Genangan air di tanah terlihat berombak kecil.
6	Sepoi kuat	22-27	10,8 – 13,8	39 – 49	(L): Gelombang besar tampak berbuih tampak dimana-mana. (D): Batang pohon terlihat bergerak; suara berdesing dari kawat telpom dapat terdengar; payung dapat terangkat.
7	Angin ribut lemah	28-33	13,9 – 17,1	50 – 61	(L): Gelombang besar tampak berbuih bergerak searah arah angin. (D): Pohon-pohon bergerak; berjalan terasa berat
8	Angin ribut	34-40	17,2 – 20,7	62 – 74	(L): Gelombang tinggi sedang dan panjang; ujung pecah gelombang terlihat seperti hanyut.

					(D): Batang pohon dapat pat, sampai pohon tumbang.
9	Angin ribut kuat	41-47	20,8 – 24,4	75 – 88	(L): Gelombang tinggi, padat, dan berderet sepanjang arah angin. Ujung pecah gelombang terlihat berputar. (D): Dapat membawa kerusakan cerobong; pot-pot beterbangan.
10	Badai	48-55	24,5 – 28,4	89 – 102	(L): Gelombang sangat tinggi dan panjang. Hampir semua permukaan laut terlihat putih karena pecah gelombang. (D): Kerusakan lebih besar; tetapi didarat jarang terjadi
11	Badai amuk	56-63	28,5 – 32,6	103 – 117	(L): Gelombang luarbiasa tinggi. Kapal kecil sampai sedang terombang-ambing dan terlihat timbul-tenggelam di belakang gelombang. (D): Kerusakan berat; tetapi sangat jarang terjadi di darat.
12	Topan	>63	>32,6	>117	(L): Gelombang luar biasa besar. Udara terlihat gelap oleh adanya pecah-pecah gelombang. (D) Hampir tidak pernah terjadi.

2.4 Turbin Angin

Turbin angin merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah tenaga angin menjadi listrik (Manwell, McGowan and Rogers, 2010). Energi mekanis yang dihasilkan oleh angin menggerakan turbin yang terhubung dengan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Turbin angin terbagi menjadi 2 jenis berdasarkan arah sumbu rotor nya yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).

Turbin angin yang mempunyai jumlah sudu lebih dari 3 dengan soliditas yang tinggi mempunyai torsi yang besar. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu kurang dari sama dengan 3 mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi (Daryanto, 2007). Pada penelitian ini menggunakan HAWT, penggunaan sumbu horizontal memiliki kelebihan yaitu efisiensi yang dihasilkan rotor lebih tinggi jika dibandingkan tipe vertikal, turbin dapat diarahkan dengan arah datangnya angin dan mempunyai mekanisme perlindungan terhadap angin yang merusak (Hidayatullah and Ningrum, 2017).

2.5 Flaps Turbin

Flaps merupakan bagian belakang sayap pesawat yang berfungsi untuk mengalirkan udara sehingga memberikan tambahan gaya angkat pada pesawat pada kecepatan rendah (Suyitmadi, 2000). Pada penelitian ini flaps digunakan untuk memberikan tangkapan angin, mengarahkan aliran fluida untuk melewati ulir turbin dan untuk menambah gaya angkat turbin.

2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode yang digunakan mencari solusi numerik yang berhubungan dengan persamaan aliran fluida dengan bantuan komputer. Dengan menggunakan CFD aliran fluida di sekitar turbin dapat digunakan untuk memprediksi perilaku turbin dengan angin. Hasil dan informasi yang didapatkan dari CFD dapat digunakan untuk pengembangan performa dari *screw turbine*.

2.7 Software yang Digunakan Dalam Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi CFD yaitu Numeca yang digunakan untuk mensimulasikan *screw turbine*. Numeca digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan ekstraksi energi angin serta aliran fluida yang melewati *screw turbine*.

2.8 Parameter Perfoma Turbin

Pada penelitian tugas akhir ini untuk mengetahui performa dari turbin dapat menggunakan *Power Coefficient* (Cp), *Torque Coefficient* (TSR) dan *Tip Speed Ratio* (TSR). Cp yang merupakan efisiensi aerodinamis dari turbin dapat dihitung dengan perbandingan dari daya yang dihasilkan rotor dibanding dengan daya yang tersedia dari fluida udara seperti pada persamaan 2.1 dan 2.2 (Jang *et al.*, 2019).

$$C_p = \frac{\boldsymbol{Protor}[\boldsymbol{W}]}{\boldsymbol{0.5\rho AV^3}[\boldsymbol{W}]} \qquad (2.1)$$

$$P_{rotor}\,[W] = T_{rotor}[Nm].\omega_{rotor}[rad/s] \qquad (2.2)$$

Dimana:

Cp = Power Coefficient

Protor = Daya yang dihasilkan rotor turbin (Watt)

ρ = Massa jenis udara pada temperatur 25°C, 1 atm (kg/m^3)

A = Luasan dari turbin (m^2)

V = Kecepatan aliran fluida udara (m/s)

T = Torsi yang dihasilkan rotor turbin (Nm)

ω = Kecepatan angular rotor turbin (rad/s)

Dengan didapatkan nilai dari Cp, maka daya yang dapat dihasilkan oleh turbin dapat diperoleh seperti pada persamaan 2.3 (Jang *et al.*, 2019).

$$P = \frac{1}{2}\rho AV^3Cp \qquad (2.3)$$

Dimana:

P = Daya yang diserap dari udara (watt)

Cp = Power Coefficient

ρ = Massa jenis udara pada temperatur 25°C, 1 atm (kg/m3)

A = Luasan dari turbin (m2)

V = Kecepatan aliran fluida udara (m/s)

Power Coefficient (Cp) merupakan fungsi dari dari *tip speed ratio*. Dimana *tip speed ratio* yaitu perbandingan antara kecepatan putar rotor terhadap kecepatan angin seperti pada persamaan 2.4 (Manwell, McGowan and Rogers, 2010)

$$\lambda = \frac{R\Omega}{V_\infty} \tag{2.4}$$

Dimana:

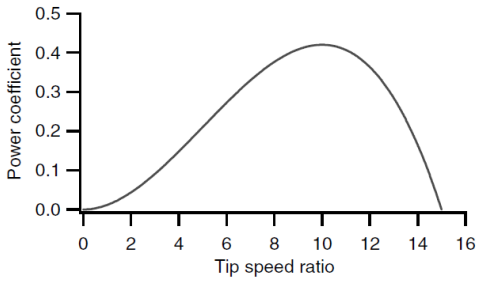
λ = Tip Speed Ratio

R = Radius Turbin (m)

Ω = Kecepatan angular rotor turbin (rad/s)

V = Kecepatan angin (m/s)

Hubungan antara *power coefficient* dengan *tip speed ratio* dapat memberikan informasi mengenai *maximum rotor power coefficient* dan *optimum tip speed ratio*(Manwell, McGowan and Rogers, 2010). Berikut ini merupakan salah satu contoh kurva *power coefficient* dengan *tip speed ratio.*



Gambar 2.5 Kurva Cp vs TSR (Manwell, McGowan and Rogers, 2010)

Torque Coefficient didapatkan dari *power coefficient* dibagi dengan *tip speed ratio* seperti pada persamaan 2.5 (Manwell, McGowan and Rogers, 2010).

$$C_Q = \frac{C_p}{\lambda} \qquad (2.5)$$

Dimana:

C_Q = *Torque Coefficient*

Cp = Power Coefficient

λ = *Tip Speed Ratio*

Halaman ini sengaja dikosongkan

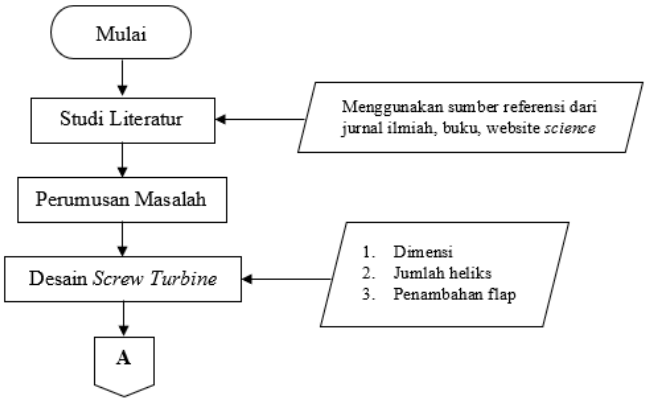
BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

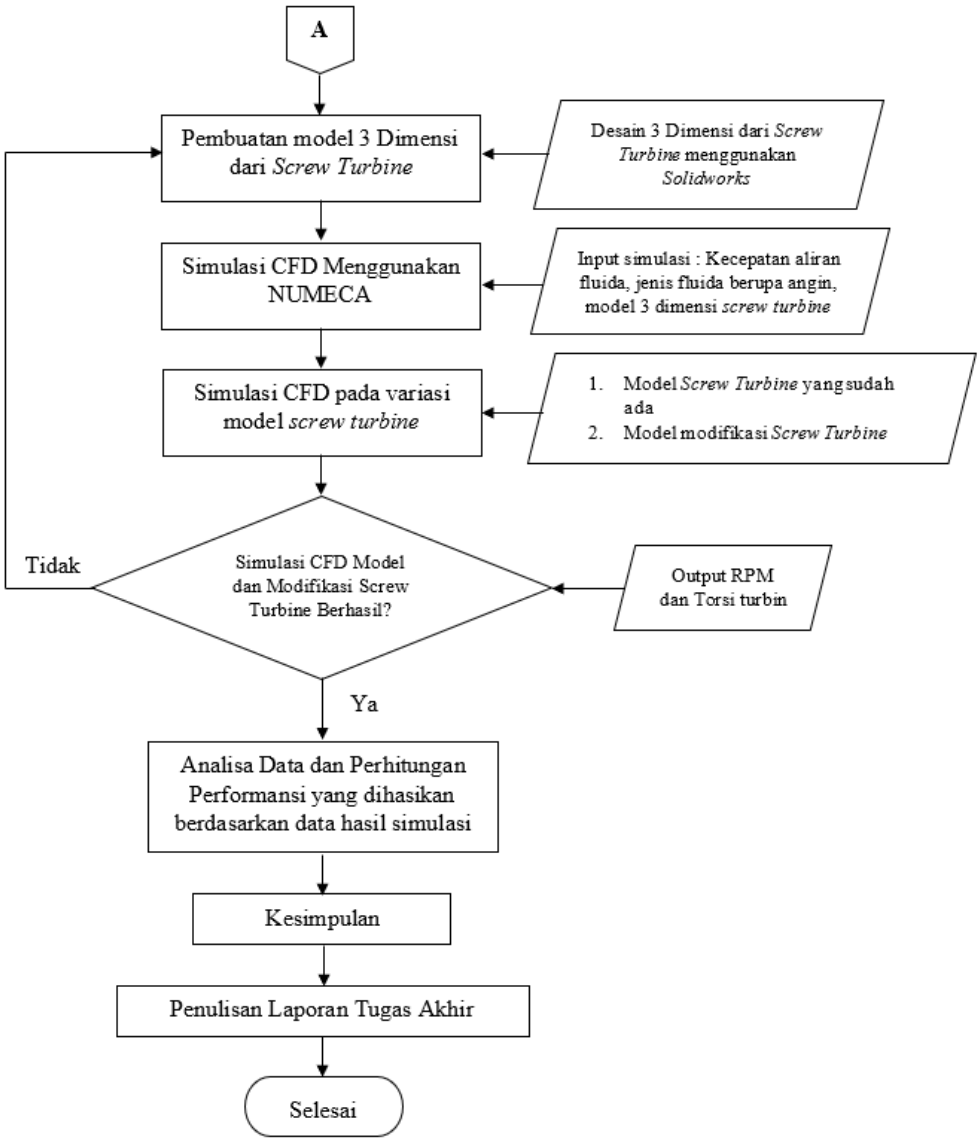
3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan metodologi atau alur penelitian tugas akhir ini. Alur penelitian tugas akhir ini dimulai dari studi literatur mengenai *screw turbine* yang kemudian ditemukan suatu permasalahan untuk menjadikan *screw turbine* yang pada umumnya digunakan sebagai pembangkit listrik mikrohidro pada penelitian ini *screw turbine* akan dimodifikasi untuk mengekstraksi angin. Dalam menentukan dimensi dan model 3 dimensi *screw turbine* mengacu pada desain *screw turbine* yang sudah dimodifikasi ada dan dengan mengganti fluida yang sebelumnya yaitu air menjadi angin. Model modifikasi dan variasi *screw turbine* yang diharapkan mampu untuk meningkatkan efisiensi dari turbin ini dalam mengekstraksi angin. Dengan menggunakan metode simulasi CFD, diharapkan luarannya yaitu putaran dan torsi turbin yang kemudian akan dianalisa dan digunakan sebagai perhitungan performansi dari model turbin tersebut. Diagram Alir Penelitian

3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir dari pengerjaan Tugas Akhir yang disajikan dalam metodologi penelitian sebagai berikut pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori dasar yang berguna untuk menunjang penelitian dari tugas akhir ini. Studi mendalam mengenai referensi yang berhubungan dengan *screw turbine* dan pengembangannya sebagai pembangkit mikrohidro serta refensi mengenai turbin angin yang kemudian akan menjadi dasar untuk pengembangan

screw turbine ini agar dapat mengekstraksi angin. Literatur-literatur tersebut didapatkan dari jurnal penelitian, artikel, *text book*, internet dan lain sebagainya.

3.4 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah yang berhubungan dengan latar belakang serta objek penelitian. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, didapatkan *screw turbine* banyak digunakan pada pembangkit mikrohidro tetapi belum ada penelitian *screw turbine* digunakan sebagai pembangkit listrik bertenaga angin sehingga belum ada data mengenai *screw turbine* dalam mengekstraksi angin dan performansinya. Maka inti dari rumusan permasalahan pada tugas akhir ini adalah membuat desain simulasi dari *screw turbine* hingga dapat mengekstraksi angin dan menganalisa performa dari modifikasi *screw turbine* tersebut.

3.5 Desain Screw turbine

Secara konsep desain dari *screw turbine* yang akan dibuat terdiri dari 2 model dan kedua model tersebut terdiri dari model tanpa *flaps* dan dengan penambahan *flaps*. Parameter dan dimensi model dari *screw turbine* ditunjukkan pada tabel 3.1.

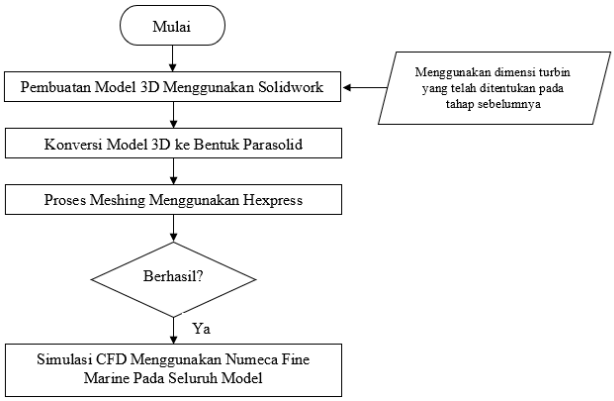
Tabel 3.1 Parameter dan Dimensi Desain Model *Screw turbine*

No.	Variasi Model	Parameter					
		D (cm)	d (cm)	n	α(°)	L (cm)	Pitch(cm)
1	Model 1 Tanpa Flaps	30	3	3	60°	50	12
2	Model 2 Tanpa Flaps	30	3	3	60°	75	21.67
3	Model 1 Flaps 2 cm 15 °	31.14	3	3	60°	51.63	12
4	Model 2 Flaps 2 cm 15 °	31.14	3	3	60°	76.63	21.67
5	Model 1 Flaps 3 cm 15 °	31.66	3	3	60°	52.60	12
6	Model 2 Flaps 3 cm 15 °	31.66	3	3	60°	77.60	21.67
7	Model 1 Flaps 2 cm 30 °	32.1	3	3	60°	51.43	12
8	Model 2 Flaps 2 cm 30 °	32.1	3	3	60°	76.43	21.67

9	Model 1 Flaps 3 cm 30 °	33.1	3	3	60°	52.30	12
10	Model 2 Flaps 3 cm 30 °	33.1	3	3	60°	77.30	21.67
11	Model 1 Flaps 2 cm 45 °	32.94	3	3	60°	51.11	12
12	Model 1 Flaps 3 cm 45 °	34.34	3	3	60°	51.82	12
13	Model 2 Flaps 2 cm 45 °	32.98	3	3	60°	76.14	21.67
14	Model 2 Flaps 3 cm 45 °	34.40	3	3	60°	76.85	21.67

3.6 Pembuatan Desain 3 Dimensi dari Screw turbine

Pada tahap ini pembuatan model desain 3 dimensi dari *screw turbine*, dimensi dari turbin berdasarkan parameter pada penentuan desain *screw turbine* pada tahap sebelumnya. Pembuatan model turbin 3 dimensi ini menggunakan *software Solidworks*. Tahap pembuatan desain model turbin digambarkan dalam diagram alir gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pembuatan Model 3 Dimensi

3.7 Simulasi CFD Menggunakan NUMECA Pada Seluruh Variasi Model *Screw turbine*

Pada tahap ini dilakukan simulasi dari model 3 dimensi turbin yang telah dibuat dengan menggunakan metode CFD. Pada proses ini dimasukkan data input jenis fluida dan

kecepatan aliran fluida serta model 3 dimensi dari turbin. Simulasi model dilakukan menggunakan *software* Numeca Fine Marine 9.2. Pengerjaan simulasi CFD ini memiliki tahapan sebagai berikut :

1. Simulasi model 1 *screw turbine* tanpa penambahan flaps dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
2. Simulasi model 1 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 2 cm dan sudut 15 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
3. Simulasi model 1 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 2 cm dan sudut 30 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
4. Simulasi model 1 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 2 cm dan sudut 45 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
5. Simulasi model 1 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 3 cm dan sudut 15 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
6. Simulasi model 1 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 3 cm dan sudut 30 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
7. Simulasi model 1 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 3 cm dan sudut 45 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
8. Simulasi model 2 *screw turbine* tanpa penambahan flaps dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
9. Simulasi model 2 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 2 cm dan sudut 15 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)

10. Simulasi model 2 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 2 cm dan sudut 30 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
11. Simulasi model 2 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 2 cm dan sudut 45 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
12. Simulasi model 2 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 3 cm dan sudut 15 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
13. Simulasi model 2 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 3 cm dan sudut 30 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)
14. Simulasi model 2 *screw turbine* dengan penambahan flaps dengan ukuran flaps 3 cm dan sudut 45 derajat, dengan skala kecepatan aliran udara yaitu skala 3 (3.4 m/s)

Seluruh variasi simulasi CFD yang dilakukan pada *screw turbine* terangkum dalam tabel dibawah ini.

No.	**Variasi Model**	**Kecepatan Aliran Udara dalam Skala**	**Torsi (Nm)**	**RPM**
1	Model 1 Tanpa Flaps	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
2	Model 1 Flaps 2 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
3	Model 1 Flaps 2 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
4	Model 1 Flaps 2 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
5	Model 1 Flaps 3 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
6	Model 1 Flaps 3 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi

7	Model 1 Flaps 3 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
8	Model 2 Tanpa Flaps	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
9	Model 2 Flaps 2 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
10	Model 2 Flaps 2 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
11	Model 2 Flaps 2 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
12	Model 2 Flaps 3 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
13	Model 2 Flaps 3 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi
14	Model 2 Flaps 3 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	Hasil Simulasi	Hasil Simulasi

3.8 Analisa Data dan Perhitungan Performansi yang Dihasilkan Berdasarkan Data Simulasi

Analisa dilakukan untuk mengetahui modifikasi *screw turbine* dapat mengekstraksi energi angin atau tidak. Jika model dari turbin ini dapat mengekstraksi angin akan dilakukan perhitungan hasil simulasi berupa torsi dan kecepatan sudut yang didapat dari simulasi CFD. Torsi dan Kecepatan Sudut akan dijadikan input perhitungan *power* (daya) dan *Power Coefficient (Cp)* pada seluruh model yang disimulasikan. Hasil perhitungan ini akan diplot ke dalam grafik atau tabel agar terlihat perbedaan perhitungan dari semua model turbin yang disimulasikan. Tetapi jika ternyata didapatkan bahwa modifikasi *screw turbine* ini tidak dapat mengekstraksi angin maka akan dianalisa beberapa faktor yang memungkinkan menjadi penyebab modifikasi *screw turbine* ini tidak dapat mengekstraksi energi angin.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan ini berisi jawaban dari hipotesa yang telah dilakukan pada awal sebelum penelitian, kesimpulan akan menjawab permasalahan dan tujuan dari penelitian ini.

Adapun saran yang dapat dicantumkan pada penelitan, apabila terdapat kekurangan yang terdapat dalam tugas akhir ini dan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan secara rinci tentang data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini, dimulai dengan pembuatan desain *screw turbine*, pembuatan model 3 dimensi dari turbin, sampai ke tahap analisa hasil simulasi CFD. Setelah dimensi utama turbin diperoleh, selanjutnya model 3 dimensi turbin akan dibuat, tanpa dan dengan penambahan flaps yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Semua model akan disimulasikan menggunakan software Numeca Fine Marine. Output simulasi yang akan dicari yaitu parameter performa turbin berupa nilai RPM dan Torsi. Pada akhir bab ini, akan dijelaskan tentang analisa untuk mengetahui modifikasi *screw turbine* dapat mengekstraksi energi angin atau tidak. Jika model dari turbin ini dapat mengekstraksi angin akan dilakukan perhitungan hasil simulasi berupa torsi dan kecepatan sudut yang didapat dari simulasi CFD. Torsi dan kecepatan Sudut akan dijadikan input perhitungan power (daya) dan *power coefficient (Cp)* pada seluruh model yang disimulasikan. Hasil perhitungan ini akan diplot ke dalam grafik atau tabel agar terlihat perbedaan perhitungan dari semua model turbin yang disimulasikan.

4.2 Desain *Screw turbine* (Dimensi, Material, Center of Gravity)

Pada tahap ini ditentukan dimensi utama dari *screw turbine* yang akan dibuat model 3 dimensinya. Hingga saat ini standar pembuatan dimensi turbin secara global belum ada. Dikarenakan turbin sebagai energi terbarukan hingga sekarang masih dalam proses mencari performa yang optimal. Maka dari itu diperlukan dimensi turbin yang spesifik sehingga desain dimensi turbin dapat digunakan untuk penelitian ini. Selain penentuan dimensi juga diperlukan penentuan spesifikasi dari material turbin.

4.2.1 Dimensi *Screw turbine*

Dimensi turbin yang akan disimulasikan tercantum pada tabel parameter dan dimensi desain model turbin tabel 3.1.

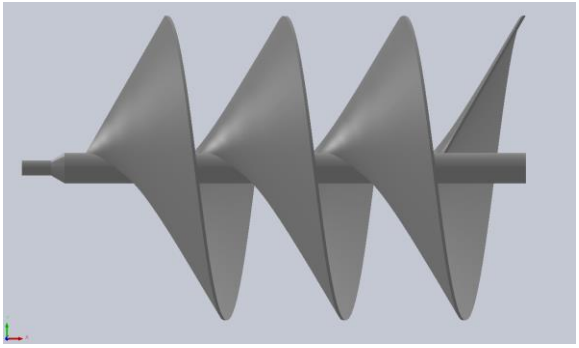
4.2.2 Material Turbin

Material turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah *fibre glass grade* S. *Fibre glass* tipe S mempunyai karakteristik yaitu memiliki modulus yang tinggi dan ketahanan yang tinggi sehingga jika digunakan dapat mempunyai usia pakai yang lama. Sifat mekanis fibre glass tipe s ini memiliki modulus tarik 85.5 Gpa, kekuatan Tarik 4600 Mpa dan massa jenis sebesar 2,48 g/cm^3 (Hadi, 2000).

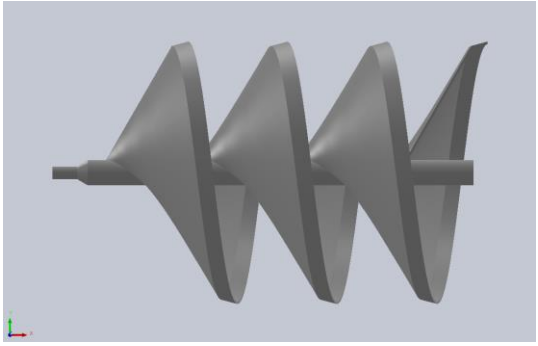
4.3 Model 3D *Screw turbine* yang Dibuat Menggunakan Solidworks

4.3.1 Model 3 Dimensi

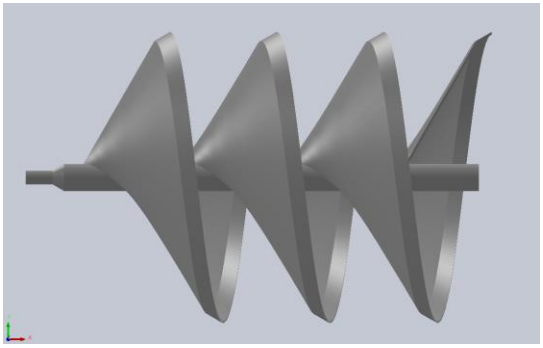
Pembuatan model 3 dimensi menggunakan *software solidworks* sesuai dengan parameter dan dimensi desain model *screw turbine* yang telah ditentukan. Berikut keseluruhan model yang telah dibuat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



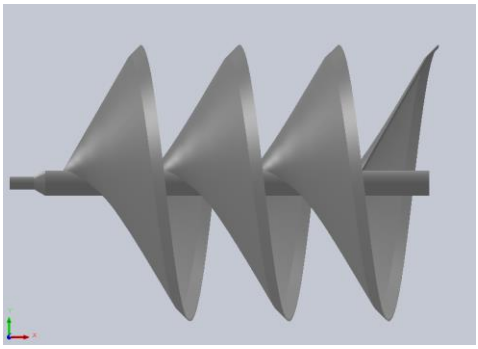
Gambar 4.1 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 Tanpa Flaps



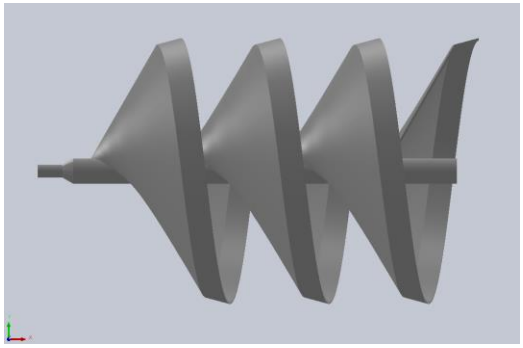
Gambar 4.2 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 15°



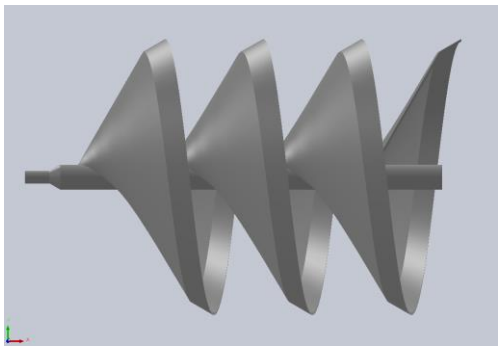
Gambar 4.3 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 30°



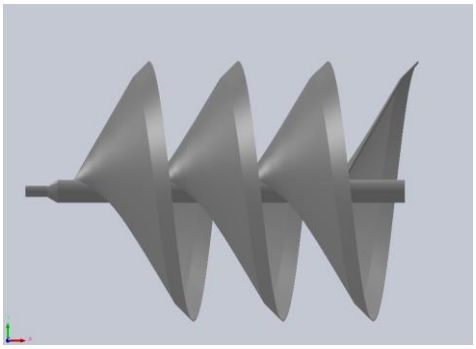
Gambar 4.4 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 45°



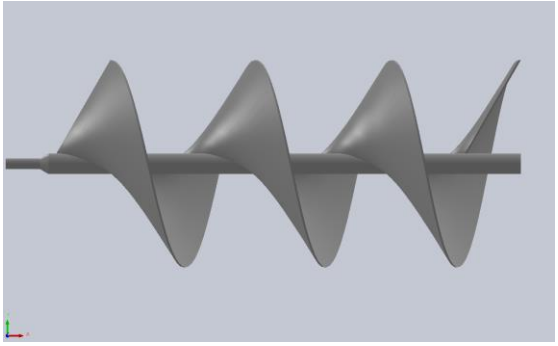
Gambar 4.5 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 15°



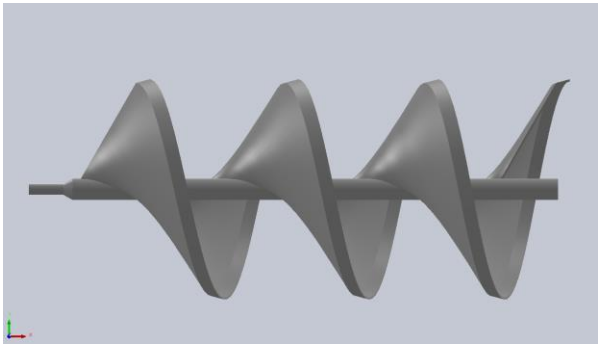
Gambar 4.6 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 30°



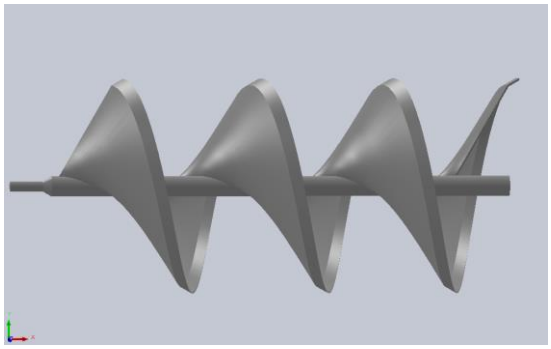
Gambar 4.7 Model 3 Dimensi Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 45°



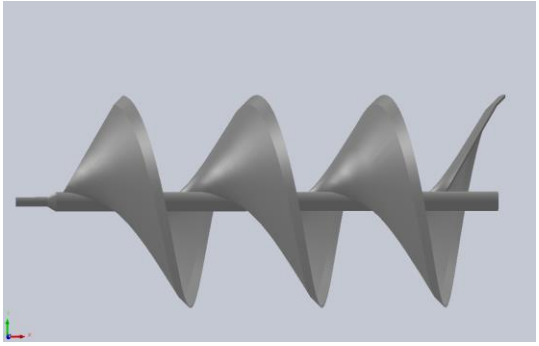
Gambar 4.8 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 Tanpa Flaps



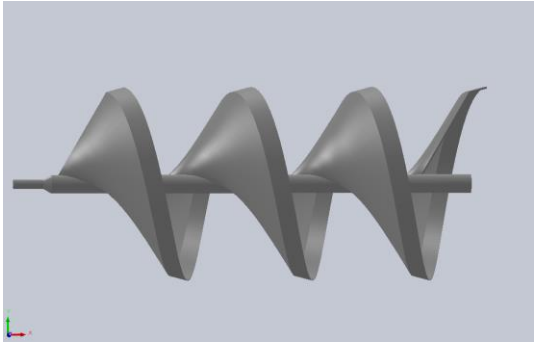
Gambar 4.9 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 15°



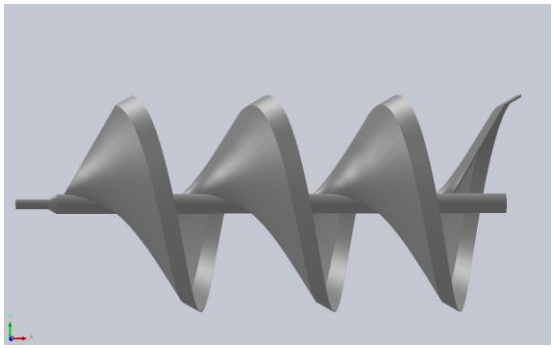
Gambar 4.10 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 30°



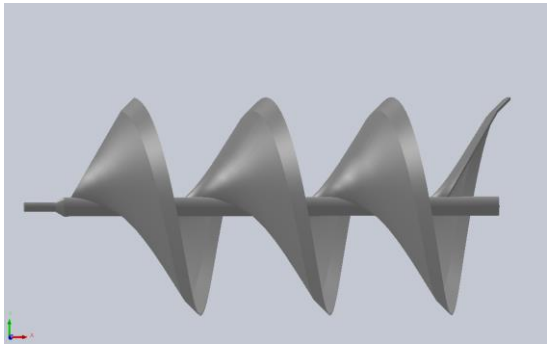
Gambar 4.11 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut flaps 45°



Gambar 4.12 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 15°



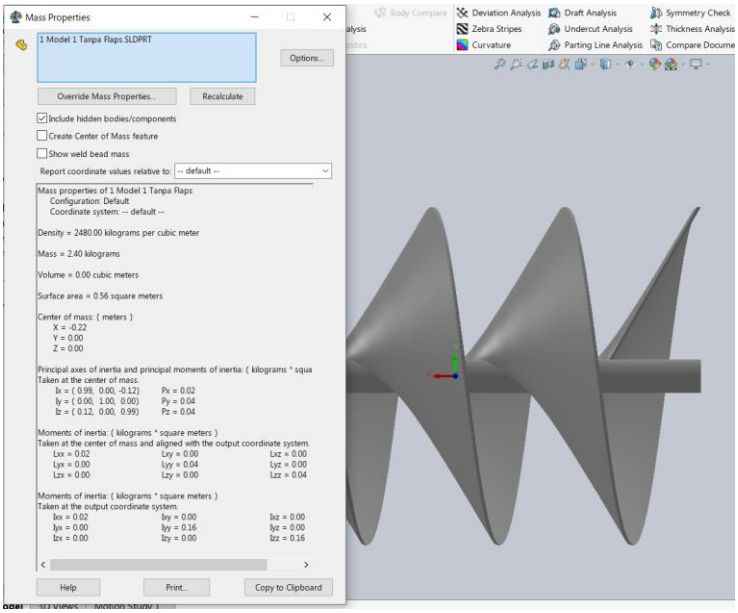
Gambar 4.13 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 30°



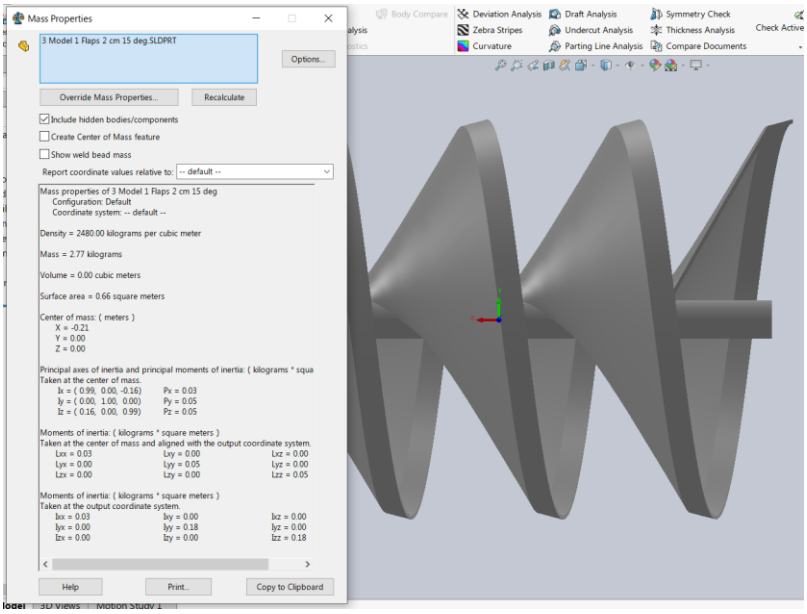
Gambar 4.14 Model 3 Dimensi Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut flaps 45°

4.3.2 Analisa *Center of Gravity Turbine*

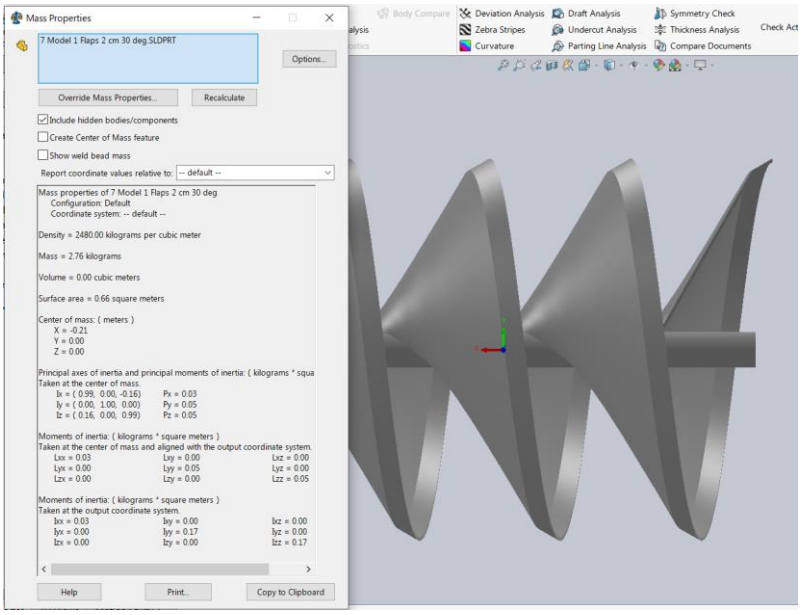
Center of gravity dari model turbin pada penelitian ini dihitung menggunakan *software solidwork*. Nilai dari *center of gravity* dari turbin ini akan dijadikan input dalam proses simulasi CFD menggunakan *software Numeca Fine Marine*. Hasil Perhitungan *centre of gravity* setiap model turbin dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



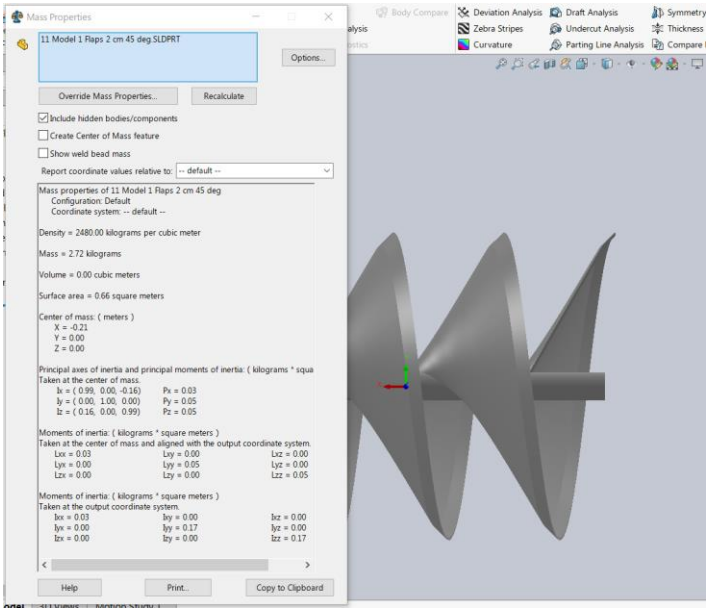
Gambar 4.15 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 Tanpa Flaps



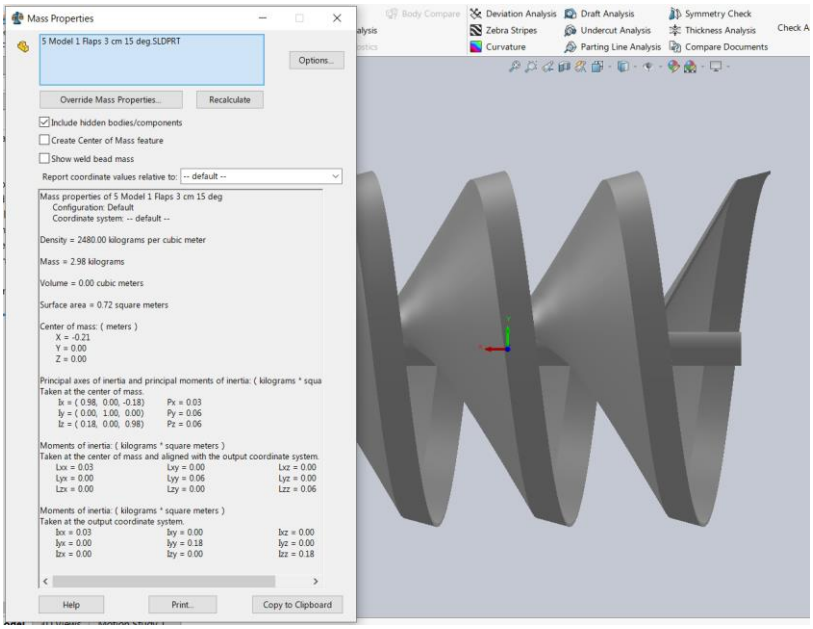
Gambar 4.16 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 15 derajat



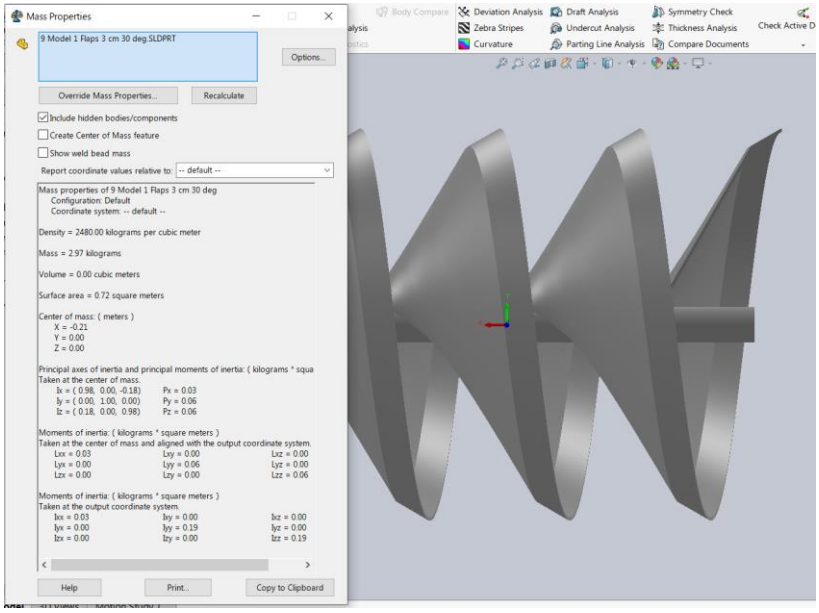
Gambar 4.17 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 30 derajat



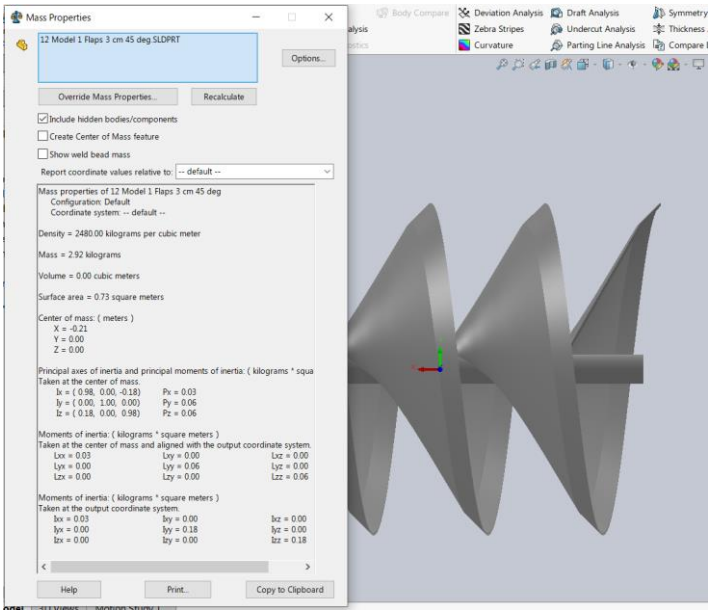
Gambar 4.18 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 45 derajat



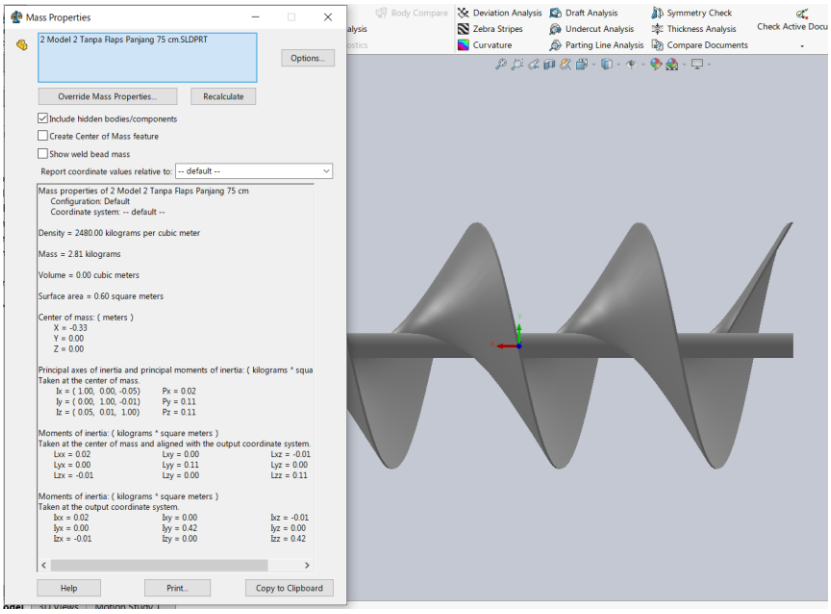
Gambar 4.19 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 15 derajat



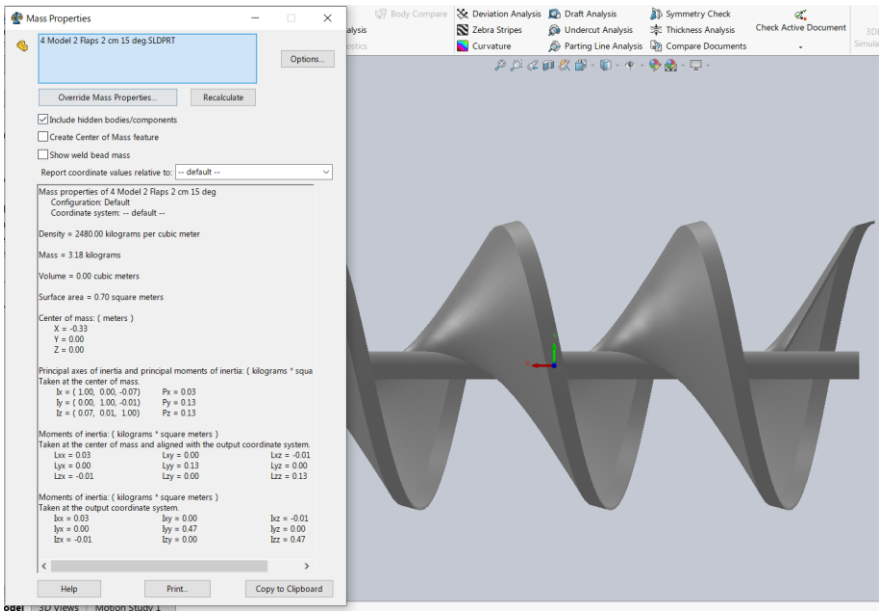
Gambar 4.20 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 30 derajat



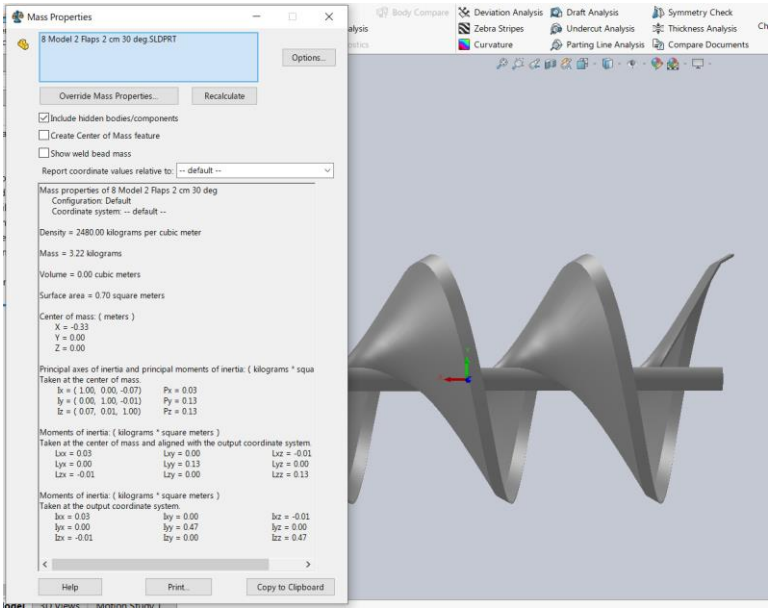
Gambar 4.21 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 45 derajat



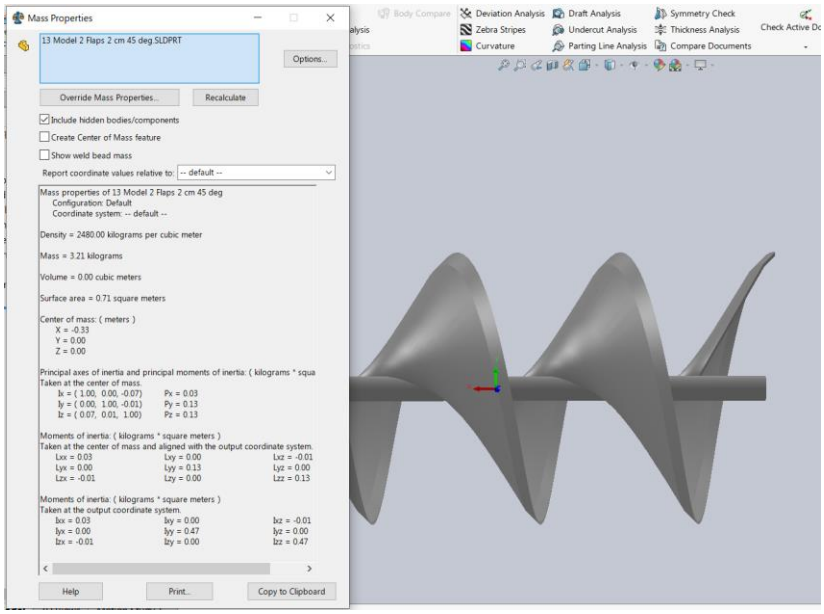
Gambar 4.22 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 Tanpa Flaps



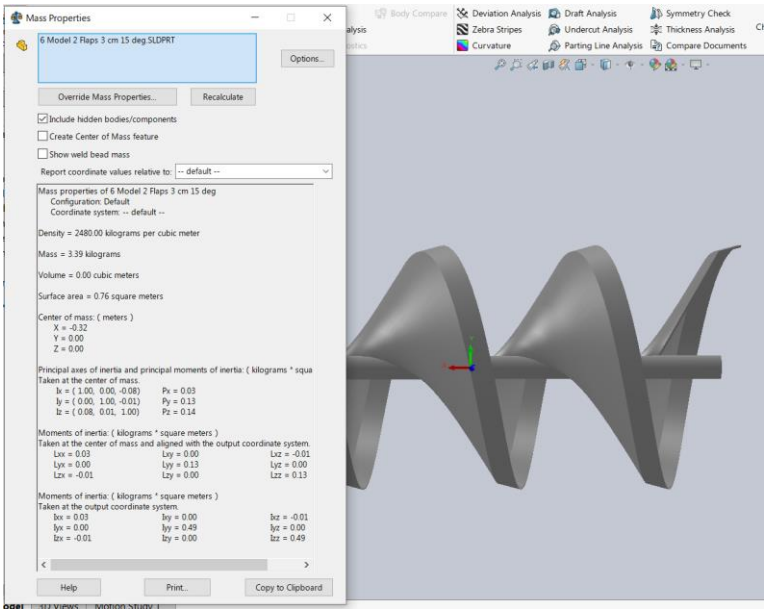
Gambar 4.23 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 15 derajat



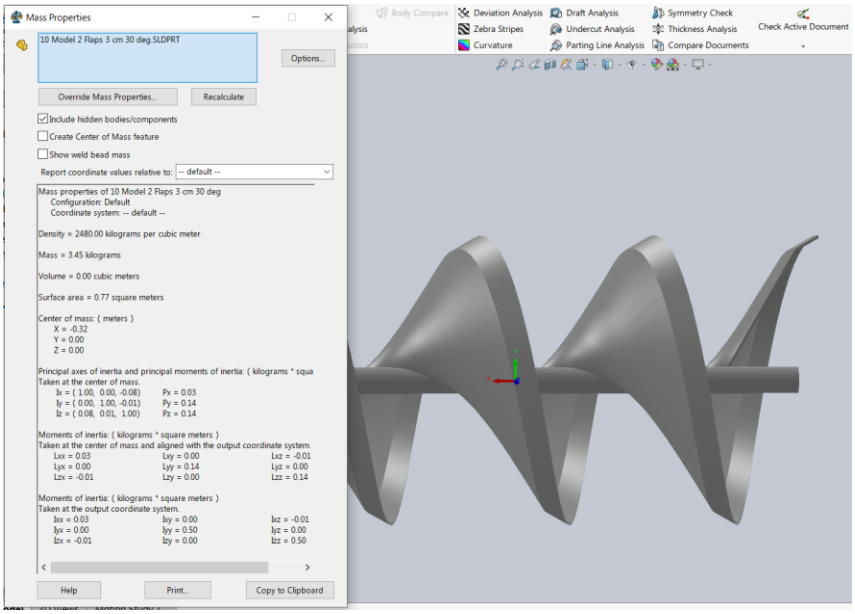
Gambar 4.24 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 30 derajat



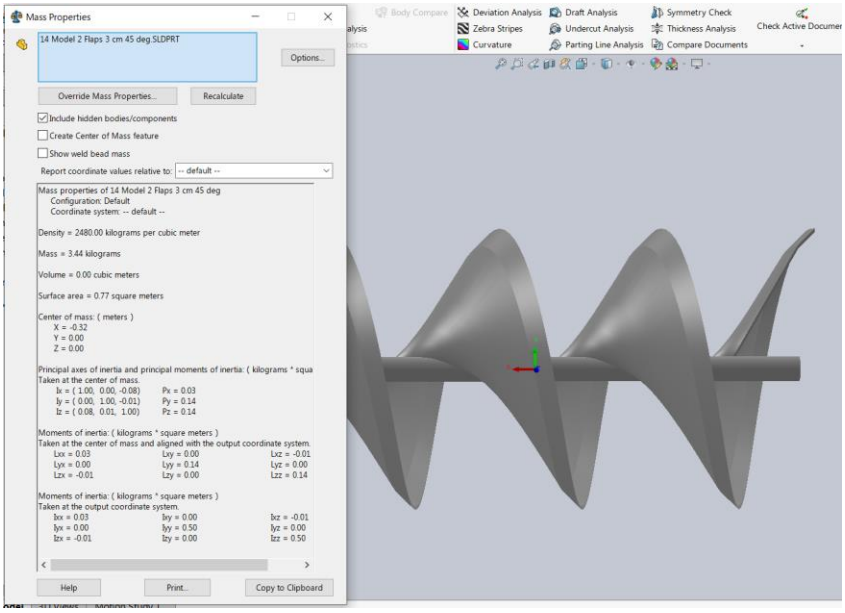
Gambar 4.25 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 2 cm dan sudut 45 derajat



Gambar 4.26 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 1 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 15 derajat



Gambar 4.27 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 30 derajat



Gambar 4.28 Perhitungan *Center of Gravity* Model Turbin 2 dengan Penambahan Flaps 3 cm dan sudut 45 derajat

Tabel 4.1 Center of Gravity Pada Setiap Model Variasi Turbin

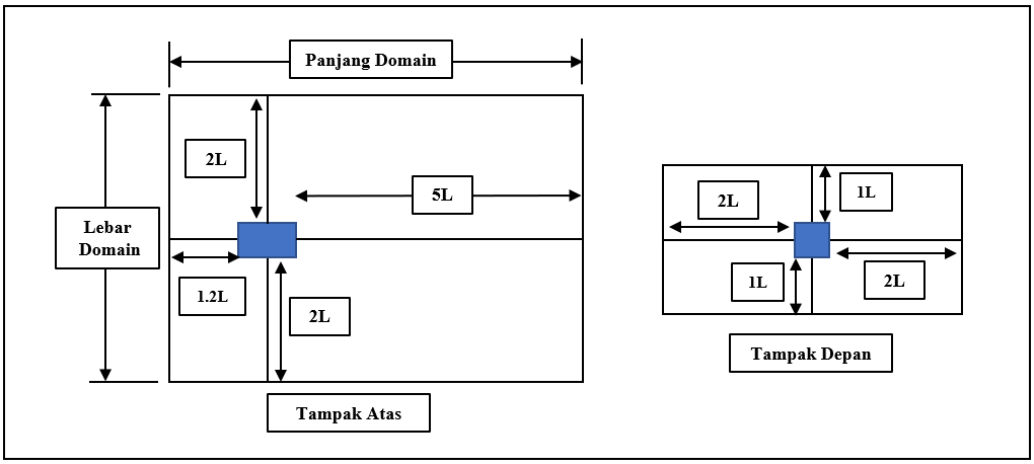
No	Variasi Model	Center of Gravity		
		X	Y	Z
1	Model 1 Tanpa Flaps	-0.22	0.00	0.00
2	Model 1 Flaps 2 cm 15°	-0.21	0.00	0.00
3	Model 1 Flaps 2 cm 30°	-0.21	0.00	0.00
4	Model 1 Flaps 2 cm 45°	-0.21	0.00	0.00
5	Model 1 Flaps 3 cm 15°	-0.21	0.00	0.00
6	Model 1 Flaps 3 cm 30°	-0.21	0.00	0.00
7	Model 1 Flaps 3 cm 45°	-0.21	0.00	0.00
8	Model 2 Tanpa Flaps	-0.33	0.00	0.00

9	Model 2 Flaps 2 cm 15°	-0.33	0.00	0.00
10	Model 2 Flaps 2 cm 30°	-0.33	0.00	0.00
11	Model 2 Flaps 2 cm 45°	-0.33	0.00	0.00
12	Model 2 Flaps 3 cm 15°	-0.32	0.00	0.00
13	Model 2 Flaps 3 cm 30°	-0.32	0.00	0.00
14	Model 2 Flaps 3 cm 45°	-0.32	0.00	0.00

4.4 Simulasi Model Screw turbine

4.4.1 Domain Model

Domain model digunakan untuk batasan ruang sebuah model turbin. Pada gambar dibawah ini merupakan batasan minimum untuk dimensi domain. L merupakan panjang dari model turbin. Pembuatan domain model ini menggunakan *software Fine Marine Hexpress*.



Gambar 4.29 Ukuran Domain Model

4.4.2 Meshing Model

Meshing merupakan salah satu proses identifikasi dengan membagi suatu objek atau benda untuk mendapatkan bagian atau blok kecil yang dinamakan cell. Semakin banyak dan rapat ukuran cell maka hasil dari simulasi yang dilakukan akan lebih valid. Tetapi dengan jumlah cell yang banyak juga akan berpengaruh pada waktu simulasi yang dibutuhkan lebih lama. Proses meshing ini menggunakan *software Fine Marine Hexpress.* Dalam tahapan meshing terdiri dari lima tahap yaitu *Initial mesh, Adapt to Geometry, Snap to geometry, Optimize dan viscous layer*(Numeca, 2020).

4.4.2.1 Initial Mesh

Pada tahap initial mesh diatur jumlah cell pada sumbu x, y dan z sebagai meshing awal. Dalam penentuan jumlah cell memiliki pengaruh terhadap tahap berikutnya antara lain berhasil atau gagalnya meshing pada tahap *snap to geometry*, dapat atau tidaknya dilihat aliran udara ketika tahap simulasi telah selesai dan akurat tidaknya hasil dari simulasi. Tahapan ini berlaku pada seluruh model yang disimulasikan.

Tabel 4.2 Jumlah Cell Tiap Pada Setiap Model Variasi Turbin

No.	Variasi Model	Jumlah Cell
1	Model 1 Tanpa Flaps	2.479.246
2	Model 1 Flaps 2 cm 15°	2.827.473
3	Model 1 Flaps 2 cm 30°	2.977.217
4	Model 1 Flaps 2 cm 45°	3.365.091
5	Model 1 Flaps 3 cm 15°	2.697.095
6	Model 1 Flaps 3 cm 30°	3.105.894
7	Model 1 Flaps 3 cm 45°	3.136.031
8	Model 2 Tanpa Flaps	2.038.578

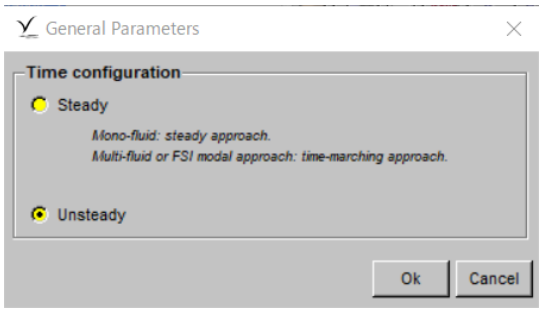
9	Model 2 Flaps 2 cm 15°	2.700.285
10	Model 2 Flaps 2 cm 30°	2.815.850
11	Model 2 Flaps 2 cm 45°	3.107.959
12	Model 2 Flaps 3 cm 15°	2.435.284
13	Model 2 Flaps 3 cm 30°	3.152.512
14	Model 2 Flaps 3 cm 45°	3.156.410

4.4.3 Running Simulasi Menggunakan Numeca Fine Marine

Setelah dilakukan proses meshing selanjutnya yaitu *running* menggunakan software Fine Marine. Tahapan sebelum dilakukan running simulasi diperlukan pengaturan yaitu *general parameter, fluid model, flow model, boundary condition, body definition, body motion, mesh management, initial solution, control variables,* dan *output parameter.*

4.4.3.1 *General Parameter*

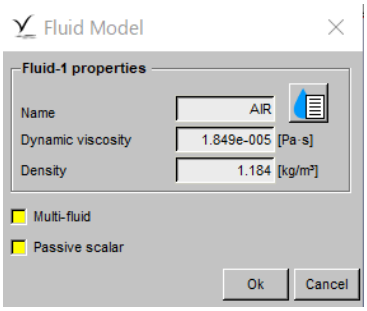
Pada general parameter ini dilakukan pemilihan konfigurasi waktu atau *time configuration* yang terdapat 2 kofigurasi waktu yaitu *steady* dan *unsteady*. Konfigurasi waktu *steady* dalam *processing* simulasi akan menganggap perubahan fluida konstan terhadap perubahan waktu. Sedangkan konfigurasi *unsteady,* akan mengidentifikasi setiap perubahan fluida terhadap perubahan waktu. Pada simulasi yang dilakukan untuk turbin ini menggunakan kofigurasi *unsteady* dimana dapat mengidentifikasi perubahan fluida di setiap perubahan waktu dikarenakan turbin ini berputar(Pradana, 2020).



Gambar 4.30 *General Parameters*

4.4.3.2 *Fluid Model*

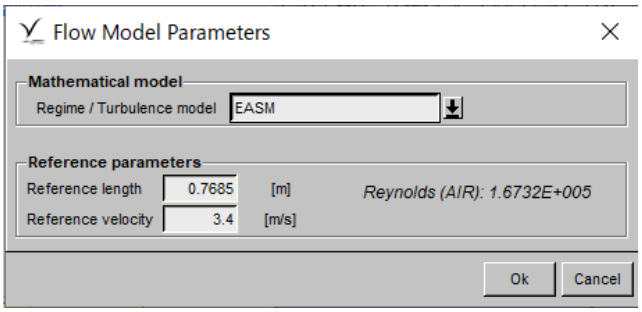
Pada parameter *fluid model* ini dilakukan untuk mengatur fluida yang akan digunakan dalam simulasi turbin. Fluida yang digunakan yaitu fluida udara pada temperatur 25°C pada tekanan 1 atm dengan *dynamic viscosity* 1.849 x 10^{-5} kg/ms dan density 1.184 kg/ m^3.



Gambar 4.31 *Fluid Model*

4.4.3.3 *Flow Model*

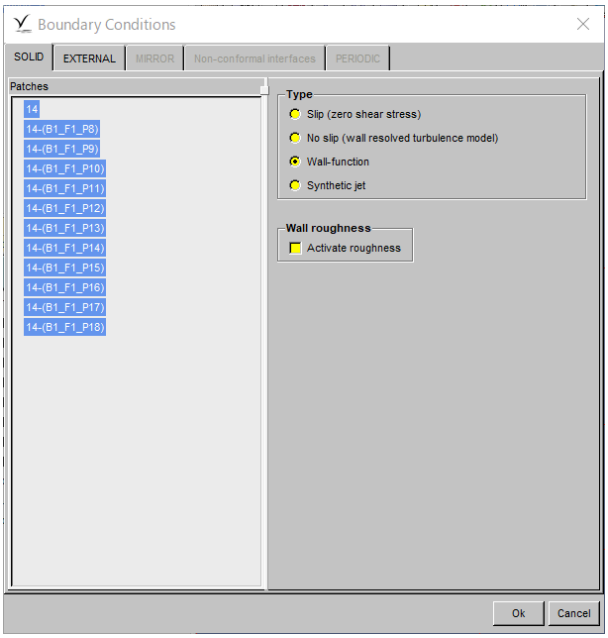
Pada parameter *Flow Model* ini dilakukan untuk mengatur jenis *turbulence model* yang akan disimulasikan. Dipilih EASM (*Explicit Algebraic Stress Model)* untuk perhitungan algoritma *reynolds number* dikarenakan objek simulasi merupakan benda berputar. *Reference length* yaitu panjang dari turbin, *reference velocity* yaitu kecepatan fluida udara atau angin.



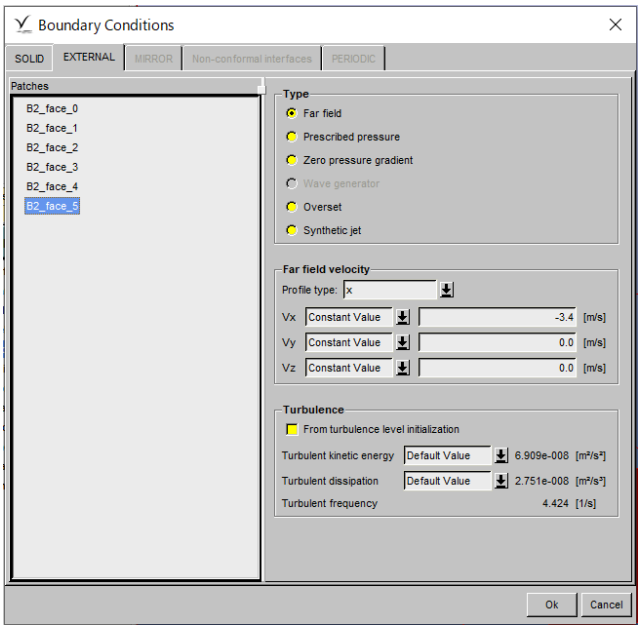
Gambar 4.32 *Flow Model Parameters*

4.4.3.4 *Boundary Condition*

Pada *boundary condition* ini merupakan kondisi batasan yang akan disimulasikan baik turbin maupun domain. Pada konfigurasi solid turbin didefinisikan sebagai *wall-function.* Sedangkan pada konfigurasi *external* arah datangnya angin didefinisikan sebagai *far field* dengan dimasukkan nilai sesuai dengan kecepatan angin yang telah ditentukan.



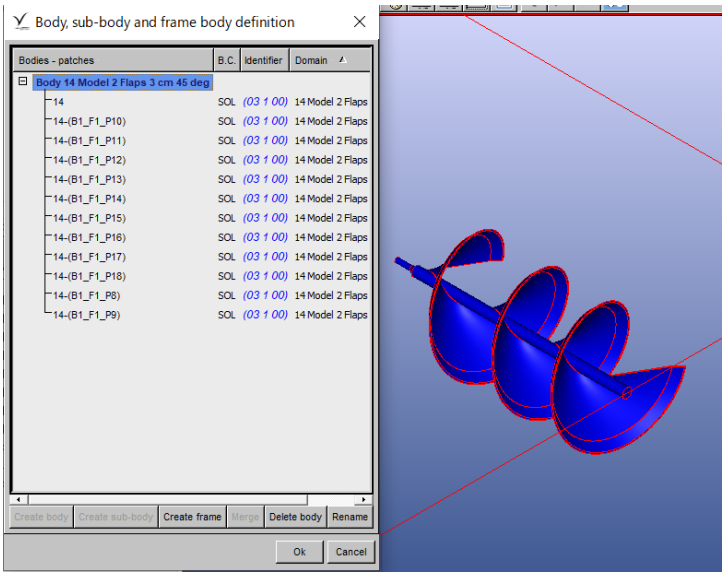
Gambar 4.33 *Boundary Conditions Solid*



Gambar 4.34 *Boundary Conditions External*

4.4.3.5 *Body Definiton*

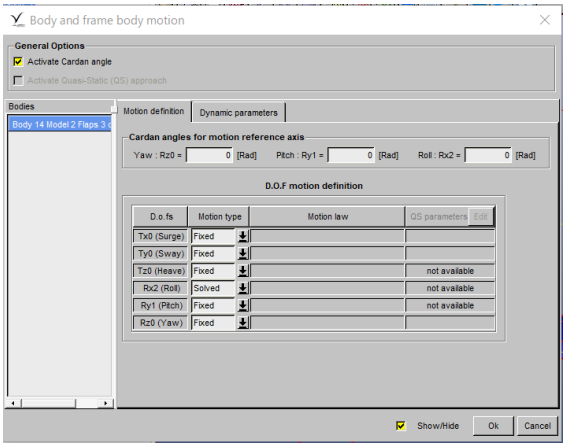
Pada *body definiton* ini merupakan mendefinisikan bagian dari objek yang akan dilakukan simulasi yang terdiri dari shaft turbin, ulir turbin dan flaps turbin.



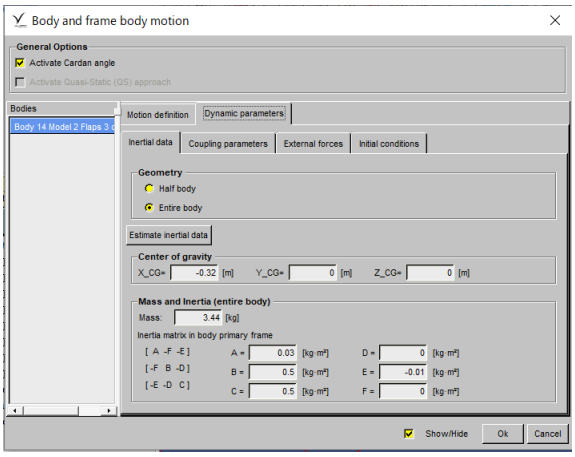
Gambar 4.35 *Body Definiton*

4.4.3.6 *Body Motion*

Pada *body motion* ini merupakan pengaturan untuk mengatur gerakan dari objek yang akan disimulasikan yang terbagi menjadi dua bagian yaitu *motion definition* dan *dynamic parameters.* Pada *motion definition* dipilih Rx2(Roll) dengan *motion type solved* dikarenakan turbin ini berotasi pada sumbu x. Pada *dynamic parameter* dilakukan pengaturan *geometry* dengan dipilih *entire body*, untuk *center of gravity, mass and inertia* disesuaikan dengan data yang telah diperoleh dari *solidworks* pada bagian analisa *center of gravity* untuk masing-masing model turbin.



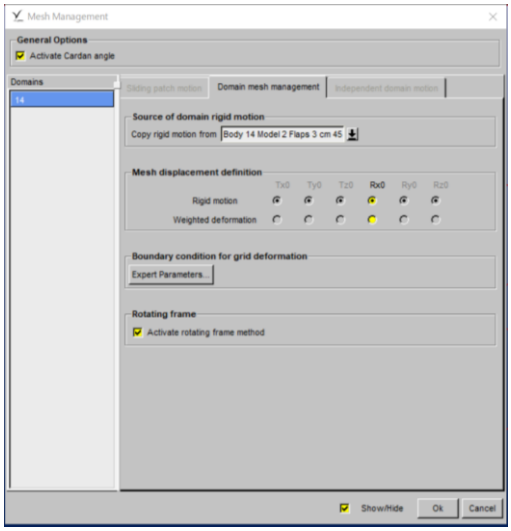
Gambar 4.36 *Body Motion-Motion Definition*



Gambar 4.37 *Body Motion-Dynamic Parameters*

4.4.3.7 *Mesh Management*

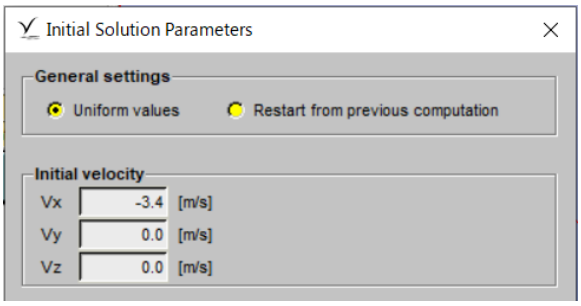
Pada *mesh management* terdapat *mesh displacement definition rigid motion* dan *weighted deformation*. Pada simulasi ini dipilih rigid motion dikarenakan dengan pengaturan ini meshing akan mengikuti pergerakan rotasi atau putaran dari turbin tanpa mengalami deformasi. Dan juga diaktifkan *activate rotating frame method*.



Gambar 4.38 *Mesh Management*

4.4.3.8 *Initial Solution Parameter*

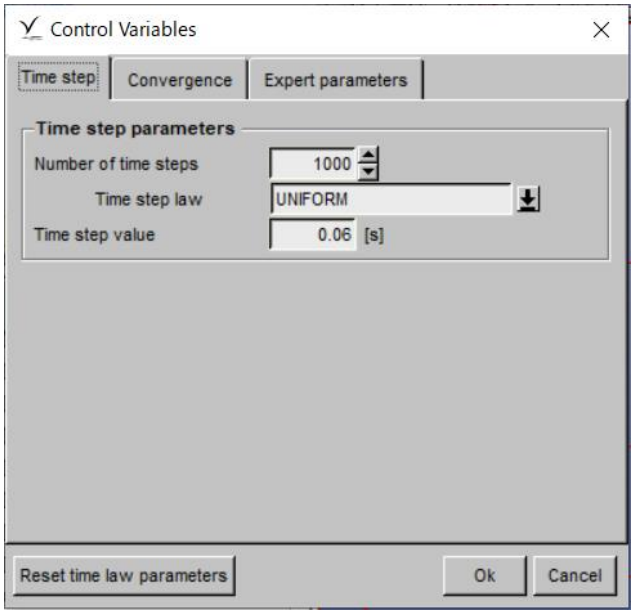
Pada initial solution dilakukan pengaturan pada *general settings* dipilih *uniform values*. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara pada sumbu Vx dengan nilai -3.4 m/s (tanda minus menunjukkan arah aliran).



Gambar 4.39 *Initial Solution Parameters*

4.4.3.9 *Control Variables*

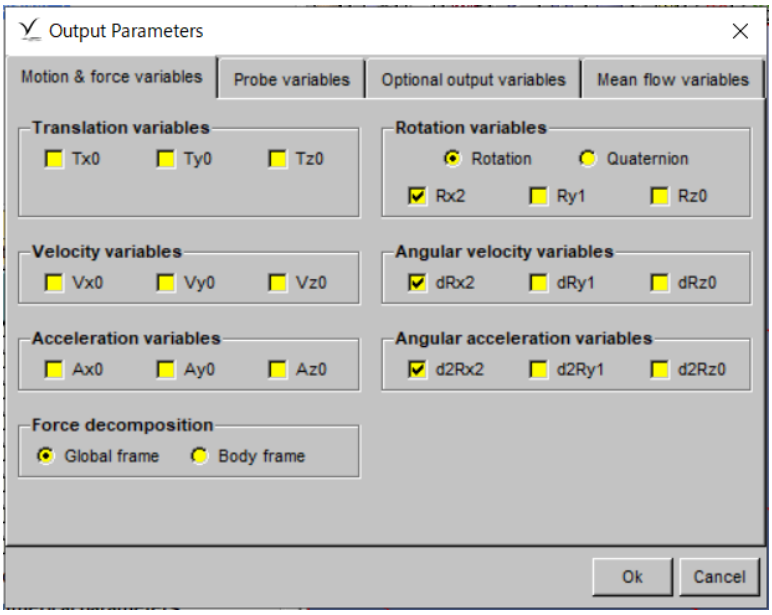
Pada *control variables* diatur *time steps* dengan nilai 1000 yang menunjukkan banyaknya tahapan *solver* dengan *time step law uniform* dan *time step value* 0.06 s.



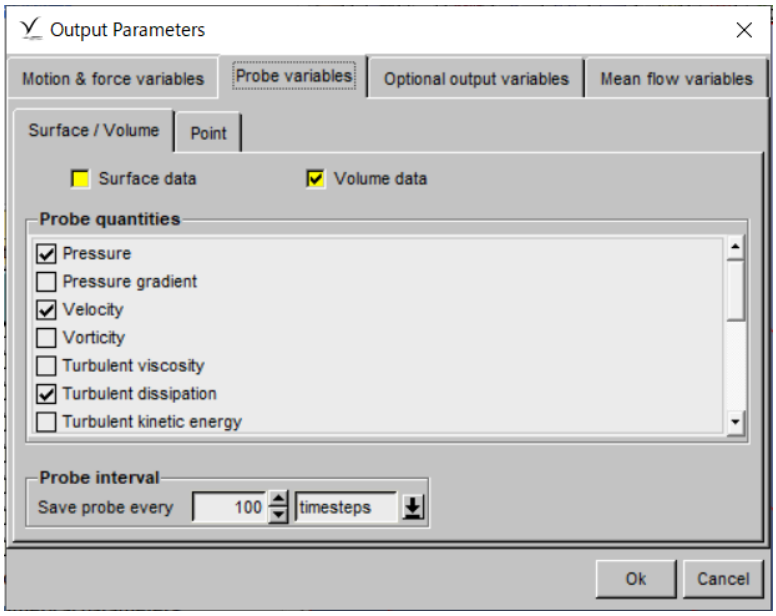
Gambar 4.40 *Control Variables*

4.4.3.10 *Output Parameters*

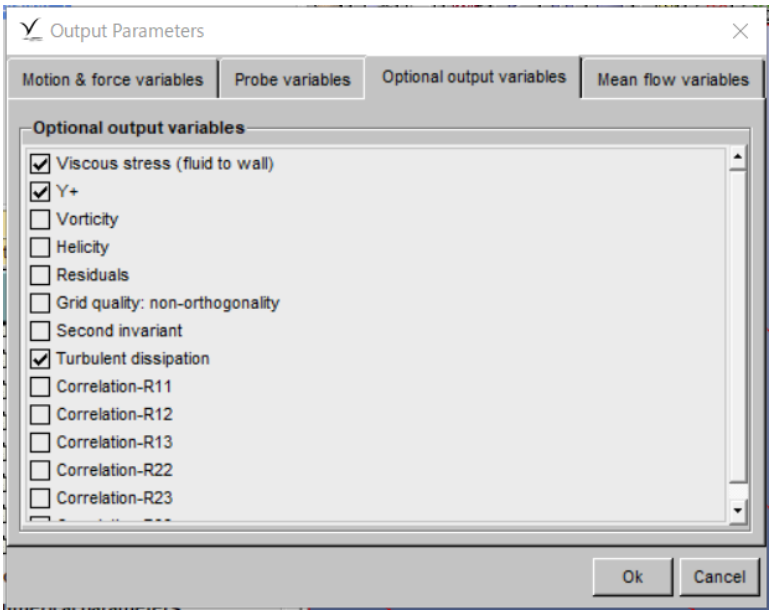
Pada *output parameter* ini dilakukan pengaturan untuk mengatur hasil simulasi yang akan dijalankan. Terdapat empat bagian yaitu *motion and force variables*, *probe variables*, *optional output variables* dan *mean flow variables*. Pada *motion and force variables* sesuai default nya. Pada *probe variables* diaktifkan *pressure*, *velocity* dan *turbulent dissipation* untuk mendapatkan hasil torsi dan kecepatan sudut dari turbin. Pada *optional output variables* dan *mean flow variables* parameter yang diaktifkan sama dengan *probe variables*. Seluruh variasi model turbin menggunakan pengaturan yang sama.



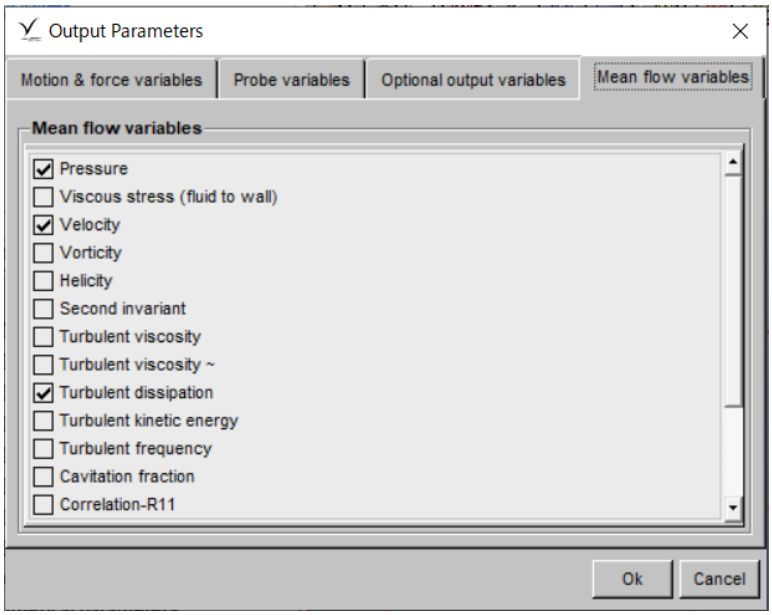
Gambar 4.41 *Output Parameters-Motion & Force Varibles*



Gambar 4.42 *Output Parameters-Probe Variables*



Gambar 4.43 *Output Parameters-Optional Output Variables*



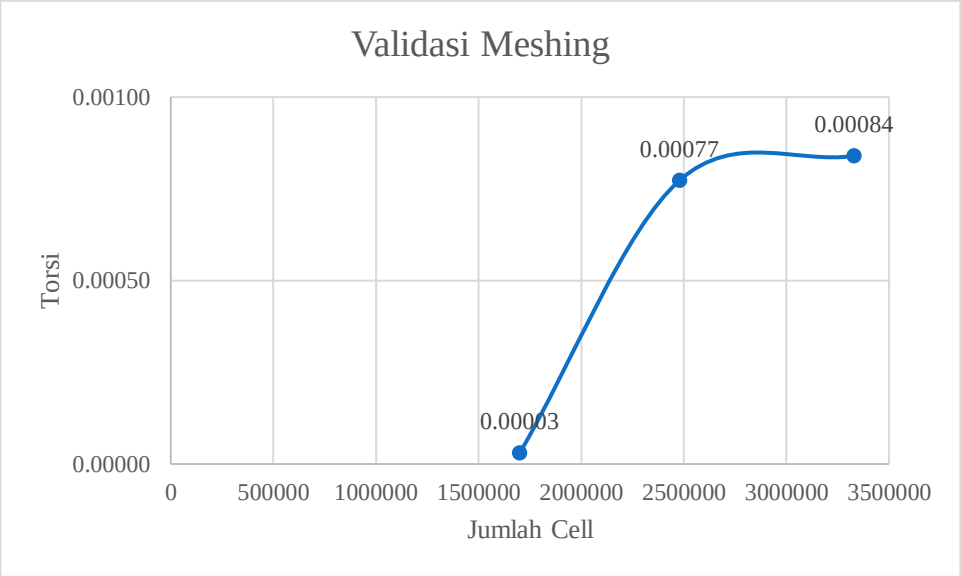
Gambar 4.44 *Output Parameters-Mean Flow Variables*

4.4.3.11 Validasi Hasil Simulasi

Validasi dari hasil simulasi menggunakan validasi meshing dilakukan untuk memastikan hasil simulasi akurat. Validasi meshing dilakukan dengan cara memvariasikan jumlah cell dari suatu model hingga mendapatkan hasil torsi yang konstan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui jumlah cell minimal yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi. Berikut ini hasil dari simulasi model 1 tanpa flaps dengan tiga variasi jumlah cell.

Tabel 4.3 Validasi Meshing

Variasi	Jumlah Cell	Torsi
1	1700358	0.0000303
2	2479246	0.0007731
3	3329733	0.0008395



Gambar 4.45 Grafik Validasi Meshing

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa pada jumlah cell 2,4 juta nilainya mulai konstan mendekati jumlah cell 3,3 juta. Maka cell berjumlah 2,4 hingga 3,3 dianggap konvergen. Validasi meshing juga dapat dilihat dari relative error dari

variasi 2 dan 3 (e_{32}) (Schwer, 2008). Nilai relative error dari variasi dapat dirumuskan sebagai berikut

$$e_{32} = \left|\frac{f_3 - f_2}{f_2}\right| \qquad (4.1)$$

Maka nilai e_{32} adalah

$$e_{32} = \left|\frac{0.0008395 - 0.0007731}{0.0008395}\right|$$

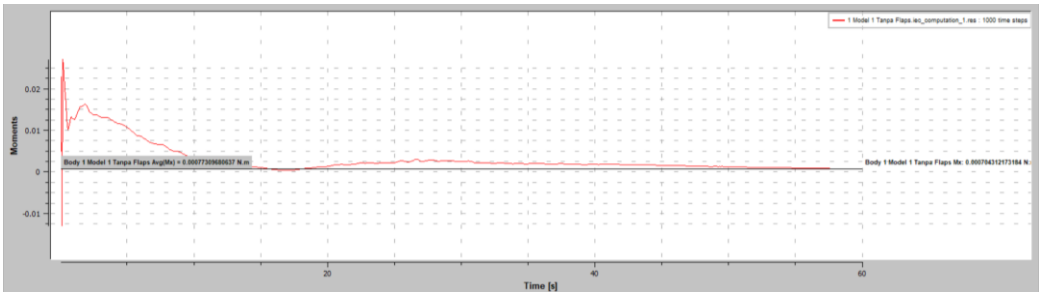
$$e_{32} = 0.079 = 7.9\%$$

Dari Perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa cell berjumlah 2,4 – 3,3 juta sudah dianggap valid dan dapat digunakan dalam penelitian.

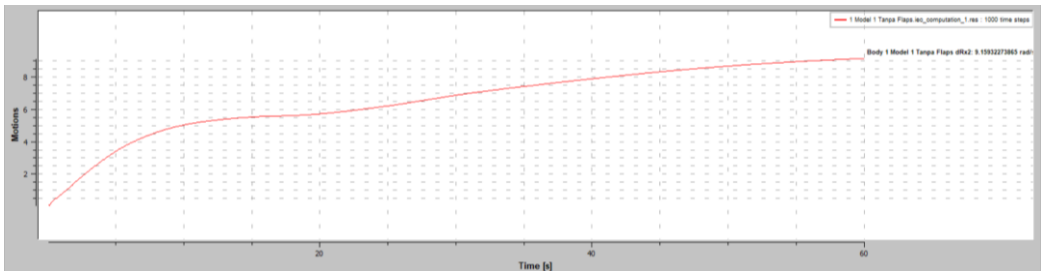
4.5 Hasil Simulasi Torsi dan Kecepatan Sudut Pada Setiap Model Variasi

Berikut ini merupakan hasil running simulasi dari tiap model dan variasi turbin. Pada keterangan grafik sumbu y terdapat label moment yang didefinisikan sebagai momen gaya/torsi, label *motion* yang didefinisikan sebagai *angular velocity* atau kecepatan sudut dan *time* yang didefiniskan sebagai fungsi waktu. Pendefinisian ini berdasarkan *setting* hasil simulasi yang telah dilakukan pada sub bab 4.4.3.9 dan 4.4.3.10.

4.5.1 Hasil Simulasi Model 1 Tanpa Flaps



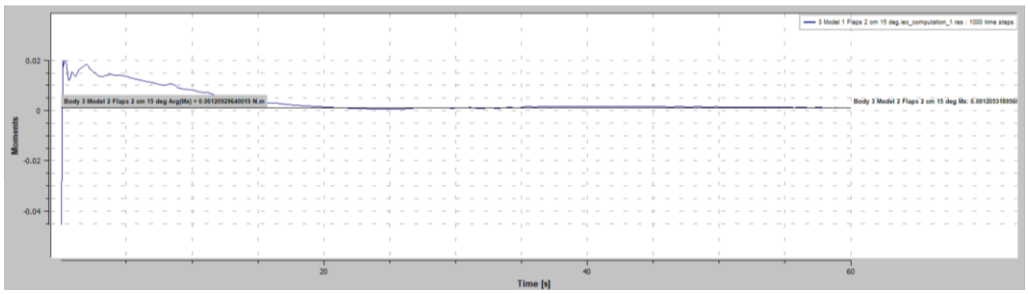
Gambar 4.46 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Tanpa Flaps



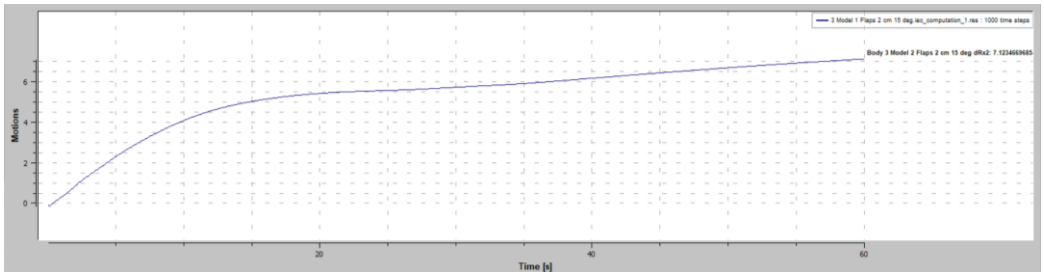
Gambar 4.47 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Tanpa Flaps

Gambar 4.46 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 tanpa flaps sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.47 merupakan grafik motion/putaran (kecepatan sudut) model 1 tanpa flaps. Pada grafik 4.46 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.47 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00085 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 9.15932 rad/s (87,465 RPM).

4.5.2 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 2 cm 15°



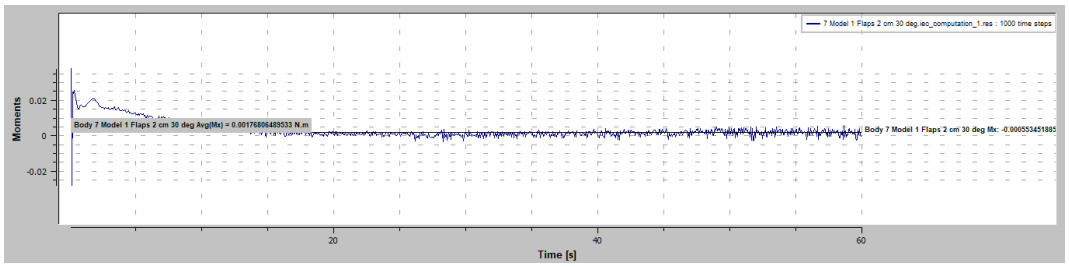
Gambar 4.48 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 2 cm 15°



Gambar 4.49 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 2 cm 15°

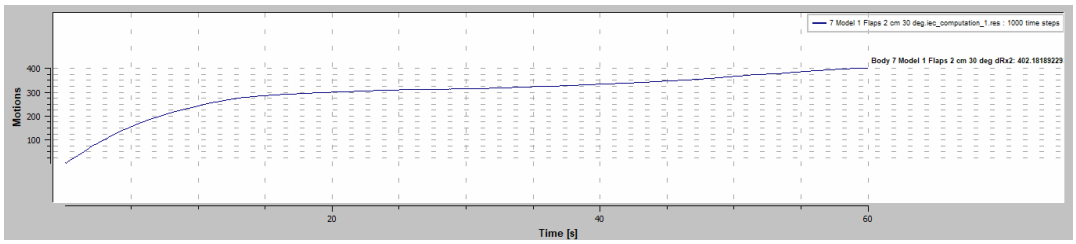
Gambar 4.50 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 flaps 2 cm 15° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.51 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 1 flaps 2 cm 15°. Pada grafik 4.50 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.51 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00121 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 7.12347 rad/s (68,024 RPM).

4.5.3 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 2 cm 30°



Gambar 4.50 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 2 cm 30°

.

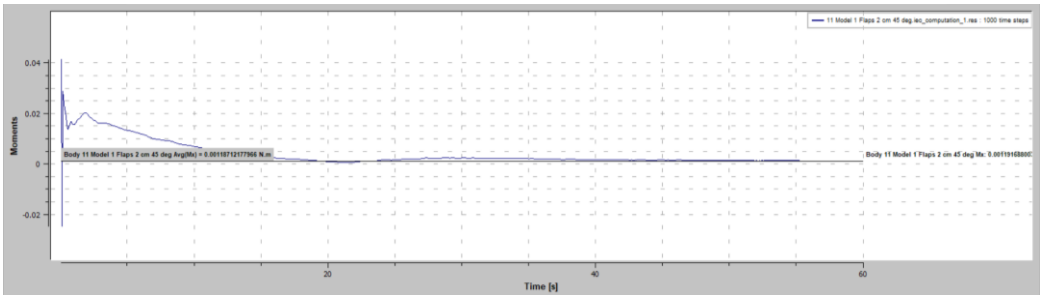


Gambar 4.51 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 2 cm 30°

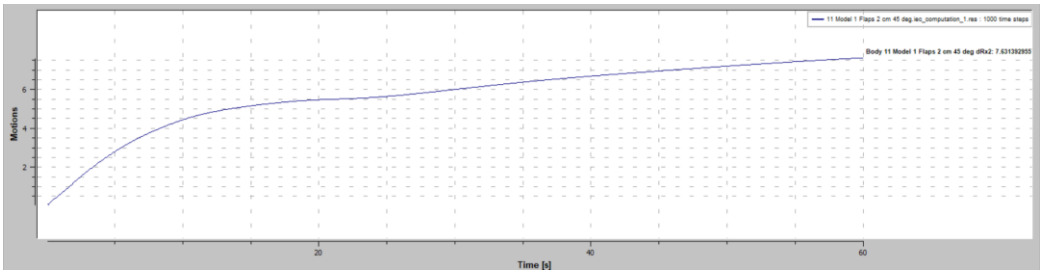
Gambar 4.58 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 flaps 2 cm 30° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.59 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 1 flaps 2 cm 30°. Pada grafik 4.58 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.59 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang

dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00177 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 7.01940 rad/s (67,030 RPM).

4.5.4 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 2 cm 45°



Gambar 4.52 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 2 cm 45°

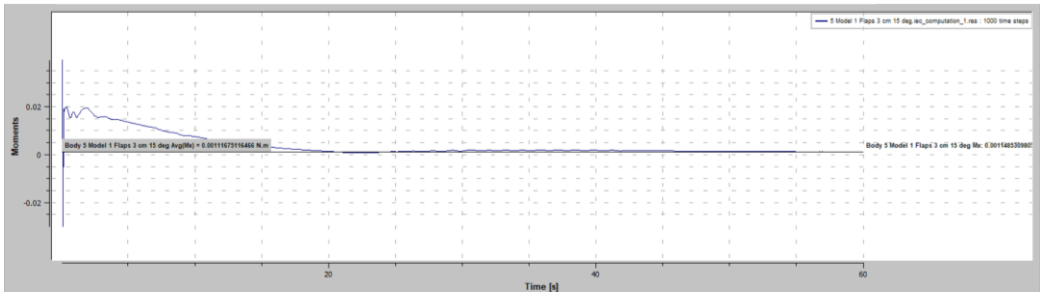


Gambar 4.53 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 2 cm 45°

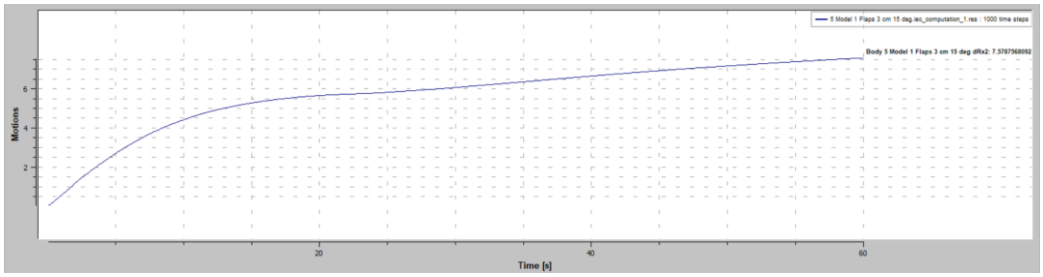
Gambar 4.66 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 flaps 2 cm 45° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.67 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 1 flaps 2 cm 45°. Pada grafik 4.66 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.67 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi

turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00119 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 7.63139 rad/s (72,874 RPM) .

4.5.5 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 15°



Gambar 4.54 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 3 cm 15°

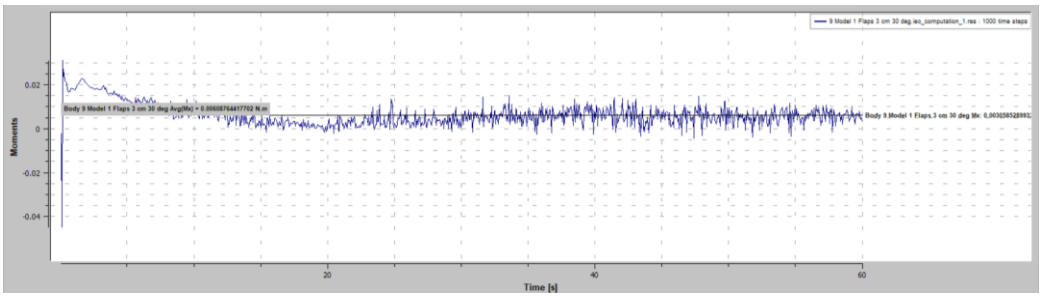


Gambar 4.55 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 3 cm 15°

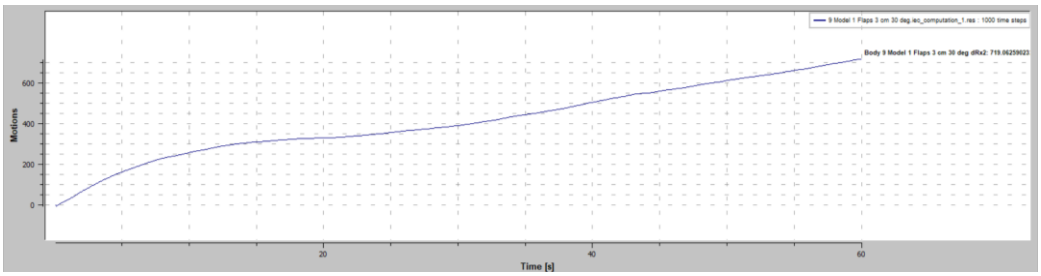
Gambar 4.54 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 flaps 3 cm 15° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.55 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 1 flaps 3 cm 15°. Pada grafik 4.54 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.55 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh

turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00112 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 7.57876 rad/s (72,372 RPM).

4.5.6 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 30°



Gambar 4.56 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 3 cm 30°



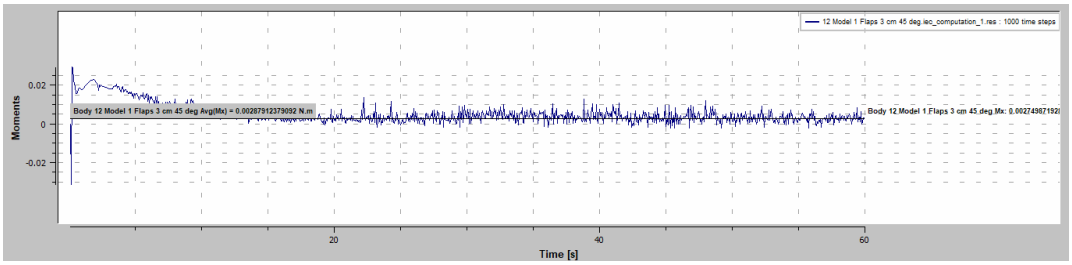
Gambar 4.57 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 3 cm 30°

Gambar 4.62 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 flaps 3 cm 30° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.63 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 1 flaps 3 cm 30°. Pada grafik 4.62 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.63 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana

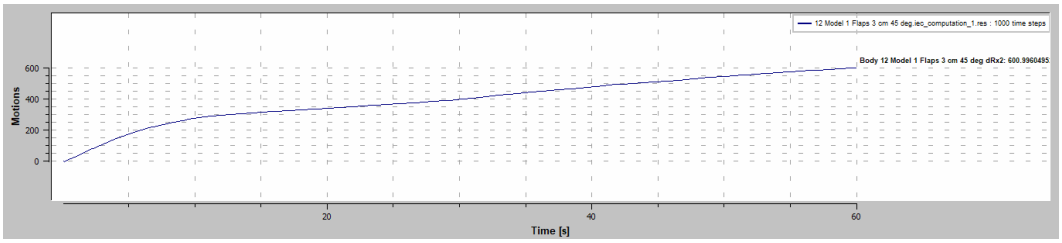
torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00609 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 12.5501 rad/s (119,844 RPM).

4.5.7 Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 45°

Berikut ini merupakan hasil simulasi berupa torsi dan kecepatan sudut turbin



Gambar 4.58 Grafik Torsi (Nm) Model 1 Flaps 3 cm 45°

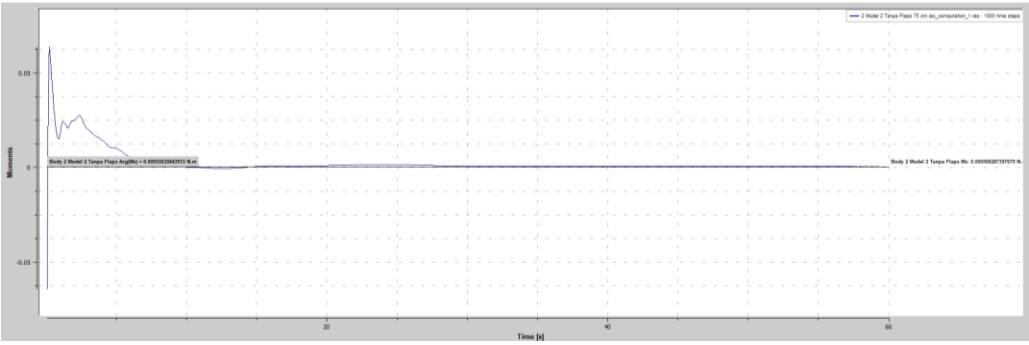


Gambar 4.59 Grafik Putaran (rad/s) Model 1 Flaps 3 cm 45°

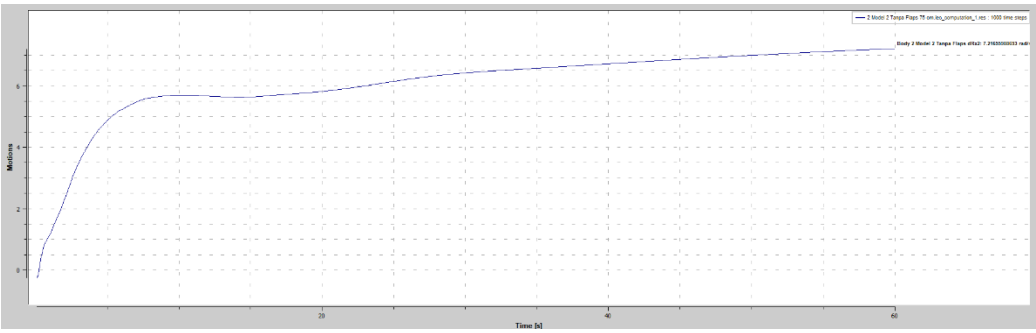
Gambar 4.68 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 1 flaps 3 cm 45° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.69 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 1 flaps 3 cm 45°. Pada grafik 4.68 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada

grafik 4.69 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00288 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 10.48936 rad/s (100,166 RPM).

4.5.8 Hasil Simulasi Model 2 Tanpa Flaps



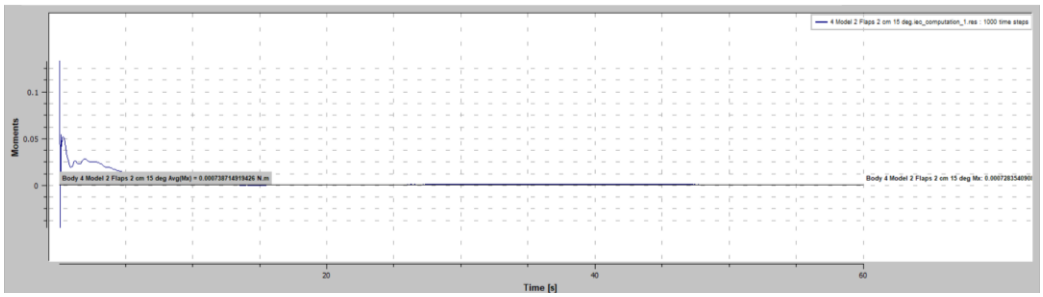
Gambar 4.60 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Tanpa Flaps



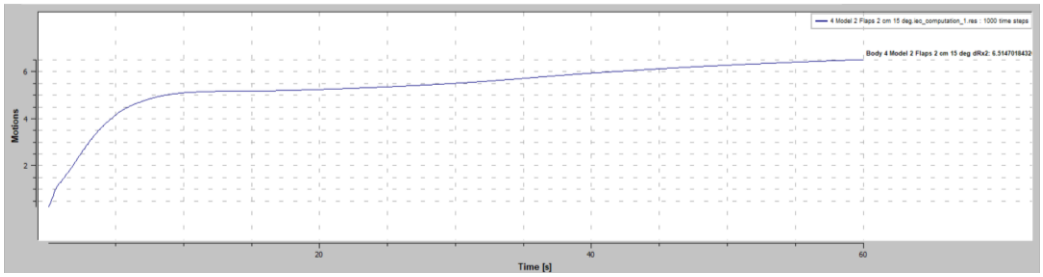
Gambar 4.61 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Tanpa Flaps

Gambar 4.48 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 tanpa flaps sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.49 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 tanpa flaps. Pada grafik 4.48 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.49 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00054 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 7.21656 rad/s (68,913 RPM).

4.5.9 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 2 cm 15°



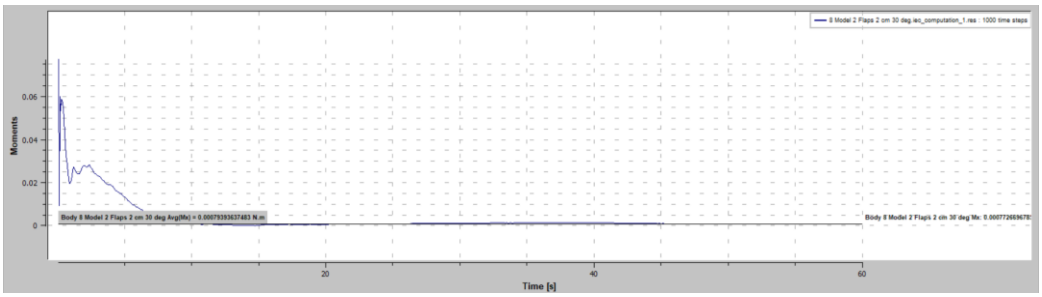
Gambar 4.62 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 2 cm 15°



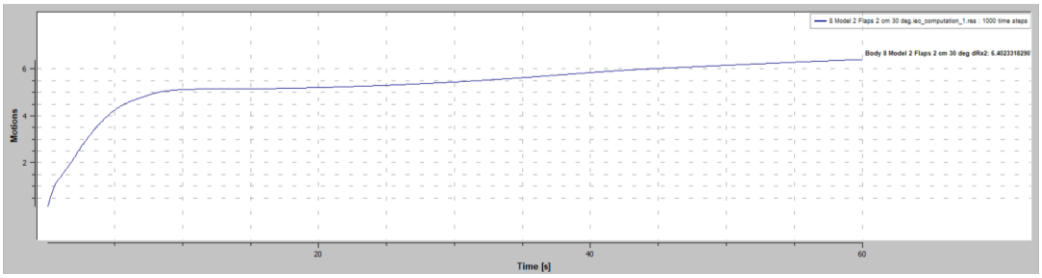
Gambar 4.63 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 2 cm 15°

Gambar 4.52 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 flaps 2 cm 15° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.53 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 flaps 2 cm 15°. Pada grafik 4.52 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.53 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00074 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 6.51470 rad/s (62,211 RPM).

4.5.10 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 2 cm 30°



Gambar 4.64 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 2 cm 30°

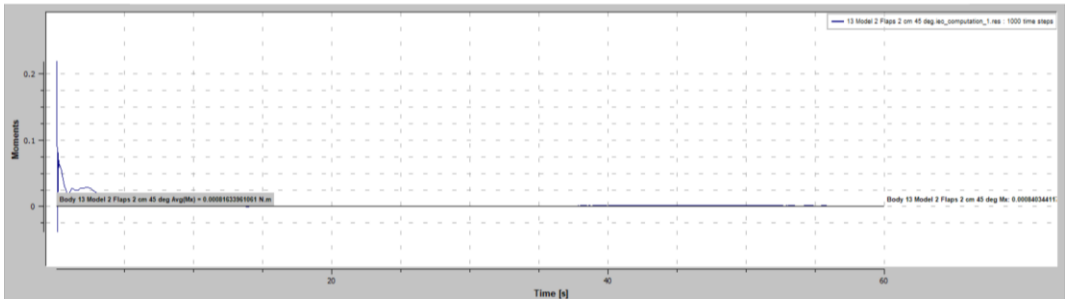


Gambar 4.65 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 2 cm 30°

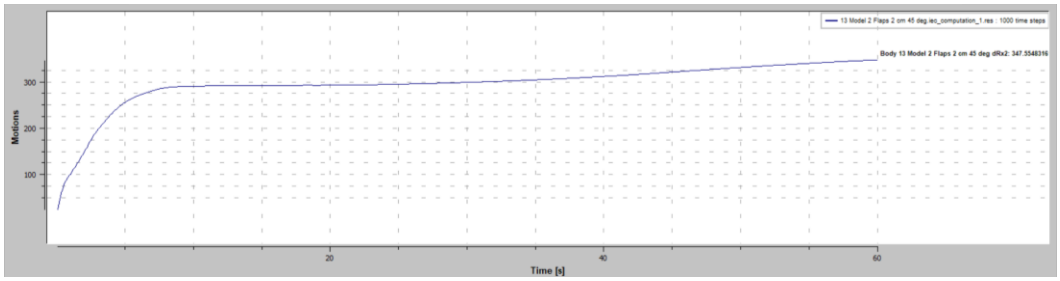
Gambar 4.60 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 flaps 2 cm 30° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.61 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 flaps 2 cm 30°. Pada grafik 4.60 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.61 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran

maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00079 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 6.40233 rad/s (61,138RPM).

4.5.11 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 2 cm 45°



Gambar 4.66 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 2 cm 45°

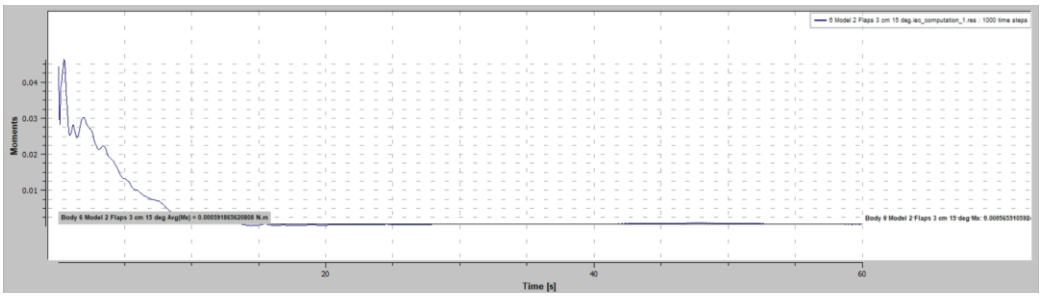


Gambar 4.67 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 2 cm 45°

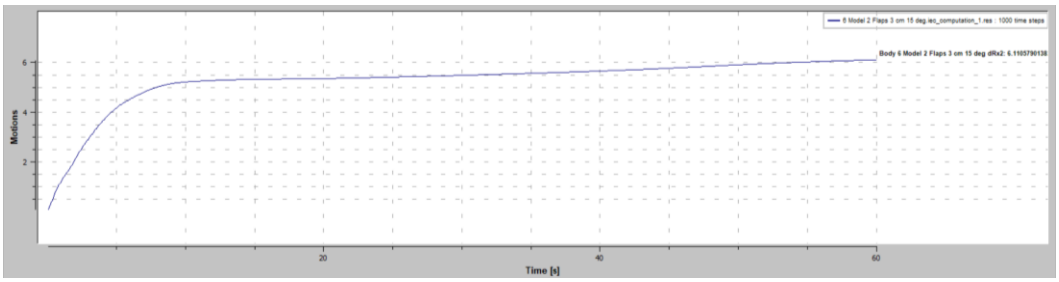
Gambar 4.70 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 flaps 2 cm 45° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.71 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 flaps 2 cm 45°. Pada grafik 4.70 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.71 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin

dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00087 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 6.06598 rad/s (57,926 RPM).

4.5.12 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 3 cm 15°



Gambar 4.68 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 3 cm 15°

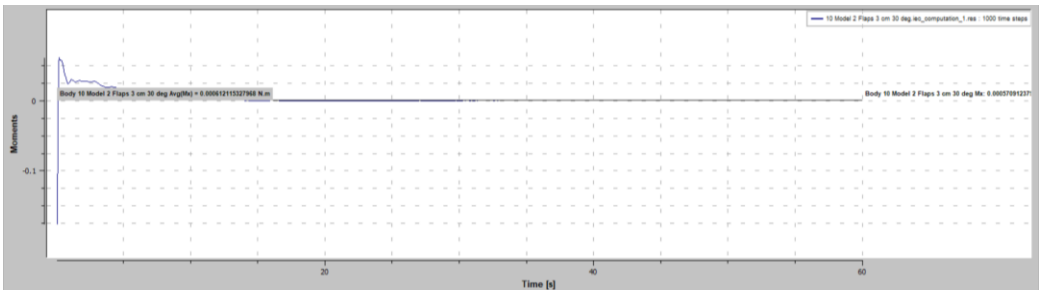


Gambar 4.69 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 3 cm 15°

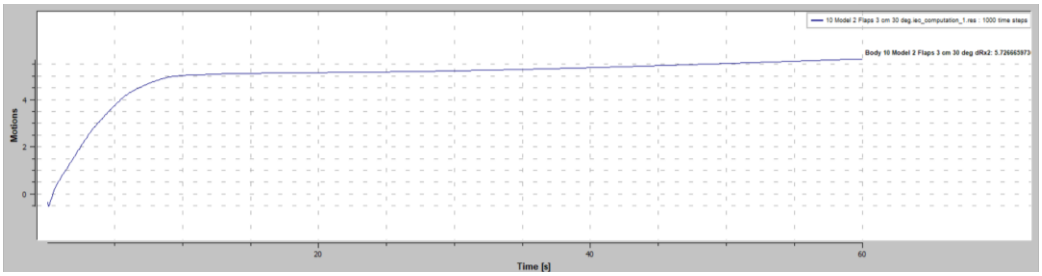
Gambar 4.56 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 flaps 3 cm 15° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.57 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 flaps 3 cm 15°. Pada grafik 4.56 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.57 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya

yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00059 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 6.11058 rad/s (58.352 RPM).

4.5.13 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 3 cm 30°



Gambar 4.70 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 3 cm 30°

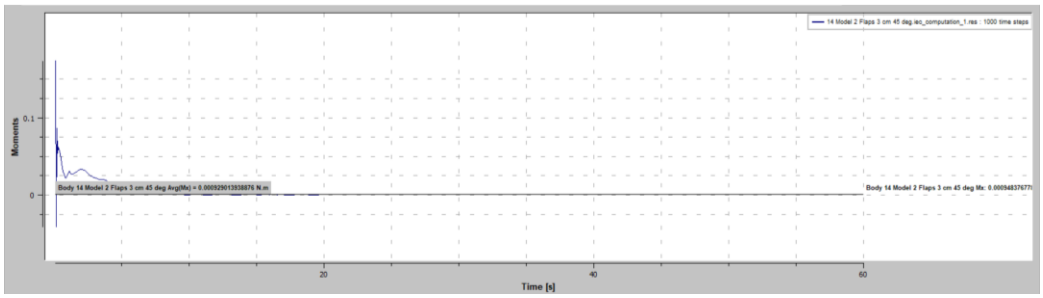


Gambar 4.71 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 3 cm 30°

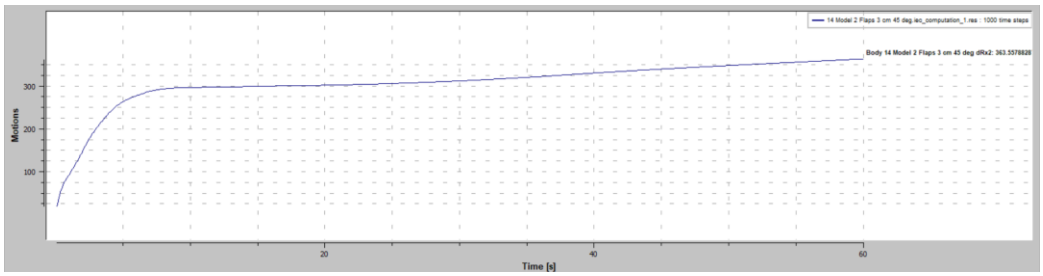
Gambar 4.64 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 flaps 3 cm 30° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.65 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 flaps 3 cm 30°. Pada grafik 4.64 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin. Sedangkan pada grafik 4.65 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan

teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00061 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 5.72667 rad/s (54,686 RPM).

4.5.14 Hasil Simulasi Model 2 Flaps 3 cm 45°



Gambar 4.72 Grafik Torsi (Nm) Model 2 Flaps 3 cm 45°



Gambar 4.73 Grafik Putaran (rad/s) Model 2 Flaps 3 cm 45°

Gambar 4.72 memperlihatkan grafik momen (momen gaya/torsi) untuk model 2 flaps 3 cm 45° sebagai fungsi dari waktu, sedangkan Gambar 4.73 merupakan grafik motion (kecepatan sudut) model 2 flaps 3 cm 45°. Pada grafik 4.72 terlihat terjadi fenomena fluktuasi torsi yang tidak terlalu besar disebabkan karena bentuk dari turbin dan gaya yang diberikan oleh aliran udara yang mengenai turbin.

Sedangkan pada grafik 4.73 terlihat terjadi peningkatan nilai putaran/kecepatan sudut ini sebagai akibat dari penurunan torsi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang mana torsi dan putaran/kecepatan berbanding terbalik. Torsi yang dihasilkan rotor turbin dan kecepatan angular rotor turbin berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin hal ini sesuai dengan persamaan 2.2. Dalam menyimpulkan besar torsi dengan menggunakan rerata hasil torsi turbin 5% terakhir ini disebabkan nilai torsi turbin dinilai sudah konvergen, sedangkan dalam menyimpulkan besar putaran/kecepatan sudut dengan menggunakan hasil putaran maksimum yang dicapai. Sehingga didapatkan torsi sebesar 0.00093 Nm dan putaran/kecepatan sudut sebesar 6.345288 rad/s (60,592 rpm).

Berikut ini merupakan tabulasi data hasil simulasi torsi dan kecepatan Sudut pada setiap model variasi turbin

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Torsi dan Kecepatan Sudut pada Setiap Model Variasi Turbin

No.	Variasi Model	Kecepatan Aliran Udara dalam Skala (m/s)	Torsi (Nm)	Putaran (rad/s)	Putaran (RPM)
1	Model 1 Tanpa Flaps	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00085	9,15932	87,465
2	Model 1 Flaps 2 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00121	7,12347	68,024
3	Model 1 Flaps 2 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00177	7,01940	67,030
4	Model 1 Flaps 2 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00119	7,63139	72,874
5	Model 1 Flaps 3 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00112	7,57876	72,372
6	Model 1 Flaps 3 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00609	12,55001	119,844
7	Model 1 Flaps 3 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00288	10,48936	100,166
8	Model 2 Tanpa Flaps	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00054	7,21656	68,913
9	Model 2 Flaps 2 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00076	6,51470	62,211

10	Model 2 Flaps 2 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00079	6,40233	61,138
11	Model 2 Flaps 2 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00087	6,06598	57,926
12	Model 2 Flaps 3 cm 15°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00059	6,11058	58.352
13	Model 2 Flaps 3 cm 30°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00061	5,72667	54,686
14	Model 2 Flaps 3 cm 45°	Skala 3 (3.4 m/s)	0,00093	6,34528	60,592

4.6 Analisa Hasil Simulasi

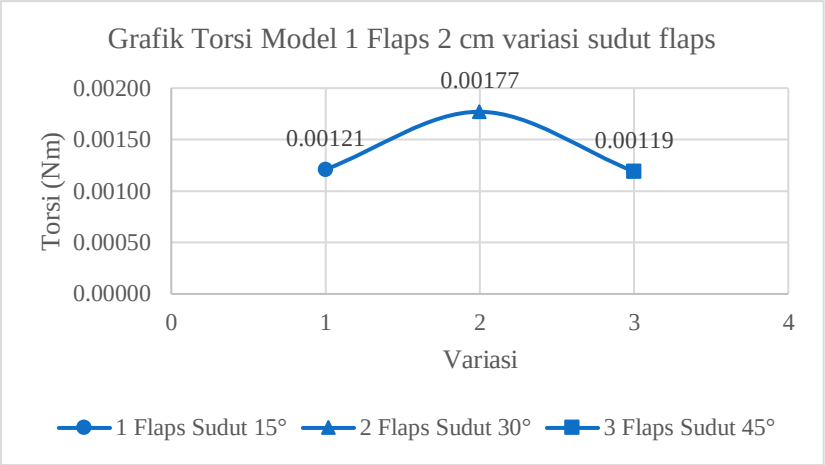
Pada sub bab ini dilakukan perhitungan dan analisa hasil simulasi model turbin menggunakan variasi flaps. Analisa yang dilakukan adalah analisa torsi dan kecepatan sudut dari hasil simulasi serta analisa performa turbin dengan parameter perfoma yang digunakan yaitu *Power coefficient (Cp), Torque Coefficient (C_Q),* dan *Tip Speed Ratio (TSR).*

4.6.1 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 1 Flaps 2 cm

4.6.1.1 Torsi

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Torsi (Nm)
Flaps sudut 15°	0.00121
Flaps sudut 30°	0.00177
Flaps sudut 45°	0.00119



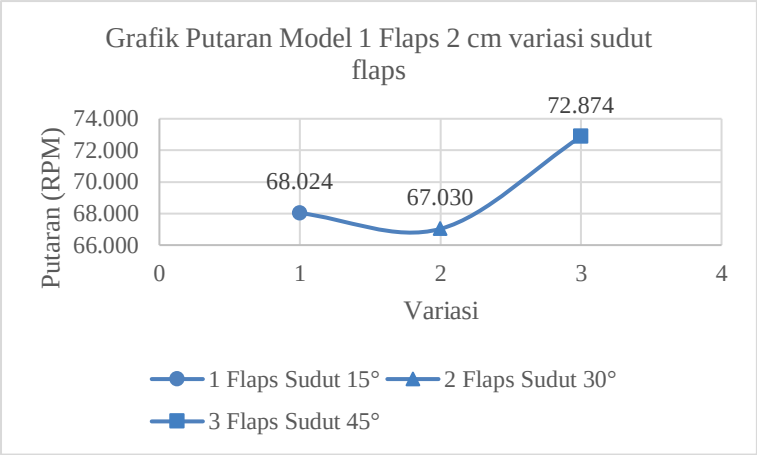
Gambar 4.74 Grafik Torsi Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa torsi model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.1.2 Putaran

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Putaran (RPM)
Flaps sudut 15°	68.024
Flaps sudut 30°	67.030
Flaps sudut 45°	72.874



Gambar 4.75 Grafik Putaran Model 1 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

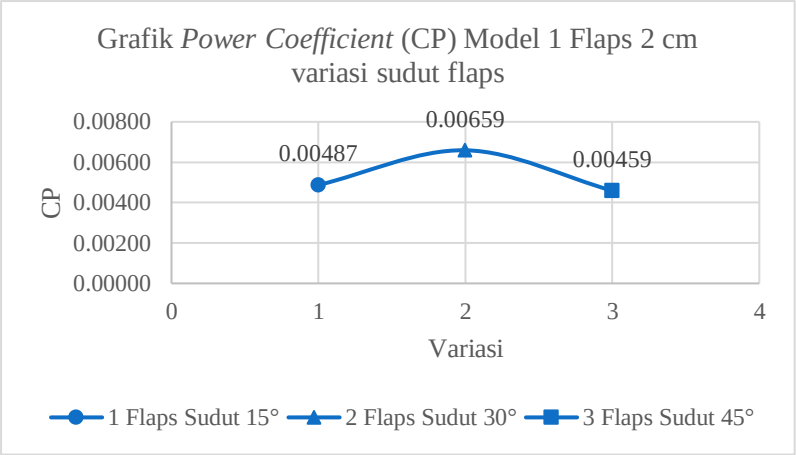
Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa putaran model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.1.3 *Power Coefficient*

Dalam menghitung nilai *power coefficient*, menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 sehingga didapatkan nilai P_{rotor} dan Cp yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.7 Nilai Cp Model 1 Flaps 2 cm

Variasi	T_{rotor}	ω_{rotor}	P_{rotor}	ρ	*A*	V^3	*Cp*
Flaps sudut 15°	0.00121	7.12347	0.00861	1.184	0.076	39.304	0.00486
Flaps sudut 30°	0.00177	7.01940	0.01241	1.184	0.081	39.304	0.00659
Flaps sudut 45°	0.00119	7.63139	0.00906	1.184	0.085	39.304	0.00459



Gambar 4.76 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 1 Flaps 2 cm variasi sudut flaps

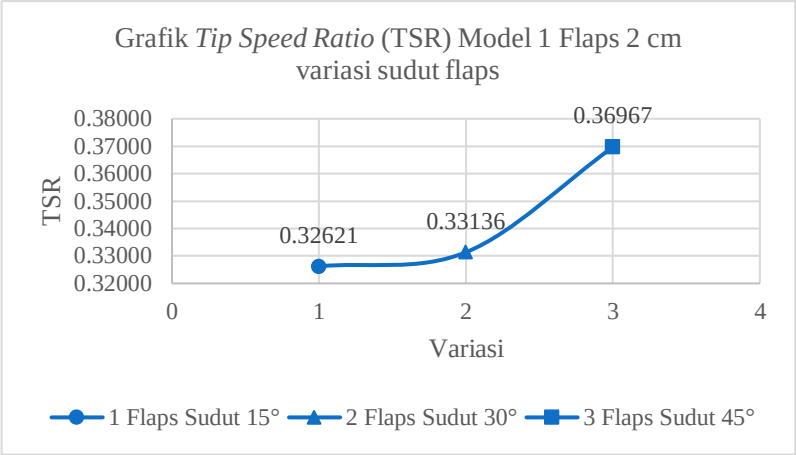
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *power coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.1.4 *Tip Speed Ratio*

Dalam menghitung niai *tip speed ratio (TSR)* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan nilai TSR yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.8 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 1 Flaps 2 cm

Variasi	R	Ω	V	λ
Flaps sudut 15°	0.15570	7.12347	3.4	0.326213
Flaps sudut 30°	0.16050	7.01940	3.4	0.331357
Flaps sudut 45°	0.16470	7.63139	3.4	0.369674



Gambar 4.77 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 1 Flaps 2 cm variasi sudut flaps

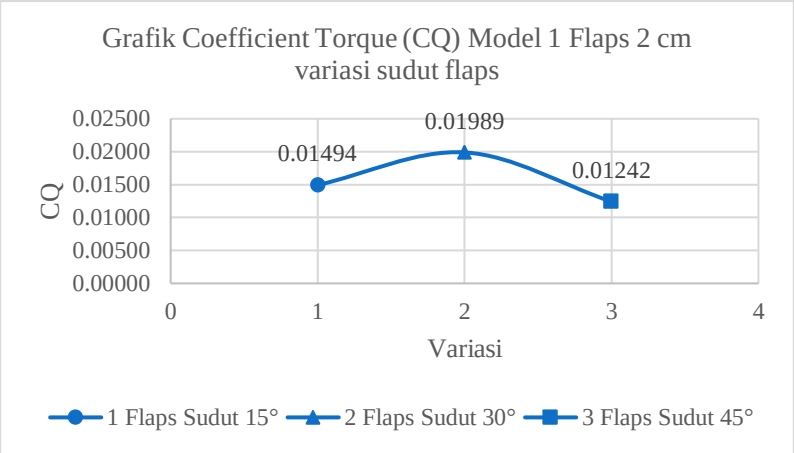
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *tip speed ratio* model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.1.5 *Torque Coefficient*

Dalam menghitung niai *torque coefficient* menggunakan persamaan 2.5 sehingga didapatkan nilai C_Q yang disajikan dalam tabel berikut

Tabel 4.9 Nilai C_Q Model 1 Flaps 2 cm

Variasi	Cp	λ	C_Q
Flaps sudut 15°	0.00486	0.32621	0.01491
Flaps sudut 30°	0.00659	0.33136	0.01990
Flaps sudut 45°	0.00457	0.36967	0.01239



Gambar 4.78 Grafik *Torque Coefficient* (C_Q) Model 1 Flaps 2 cm variasi sudut flaps

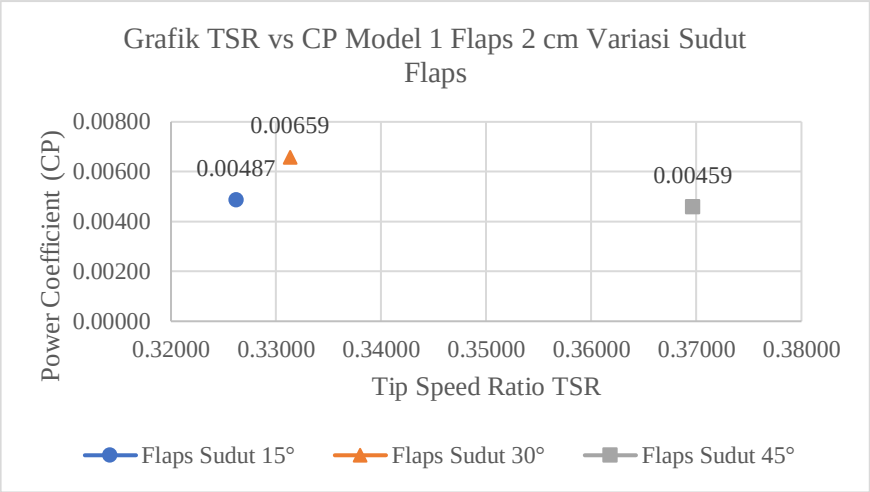
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *torque coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.1.6 *Tip Speed Ratio vs Power Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *power coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.79.

Tabel 4.10 Nilai TSR dan CP Model 1 Flaps 2 cm

Variasi	TSR	CP
Flaps Sudut 15°	0.32621	0.00487
Flaps Sudut 30°	0.33136	0.00659
Flaps Sudut 45°	0.36967	0.00459



Gambar 4.79 Grafik TSR vs CP Model 1 Flaps 2 cm

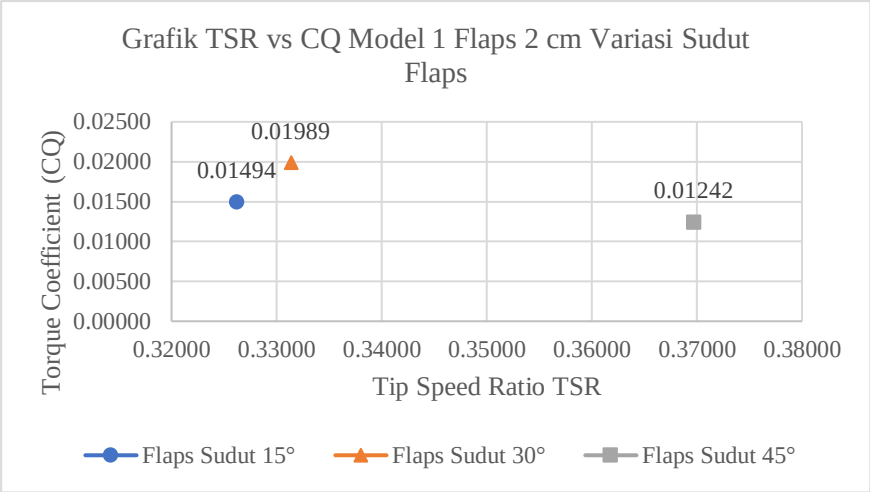
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs Cp* variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 30° memiliki nilai TSR dan CP tertinggi dari ketiga variasi model 1 flaps 2 cm.

4.6.1.7 *Tip Speed Ratio vs Torque Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *torque coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.80.

Tabel 4.11 Nilai TSR dan CQ Model 1 Flaps 2 cm

Variasi	TSR	CQ
Flaps Sudut 15°	0.32621	0.01494
Flaps Sudut 30°	0.33136	0.01989
Flaps Sudut 45°	0.36967	0.01242



Gambar 4.80 Grafik TSR vs C_Q Model 1 Flaps 2 cm

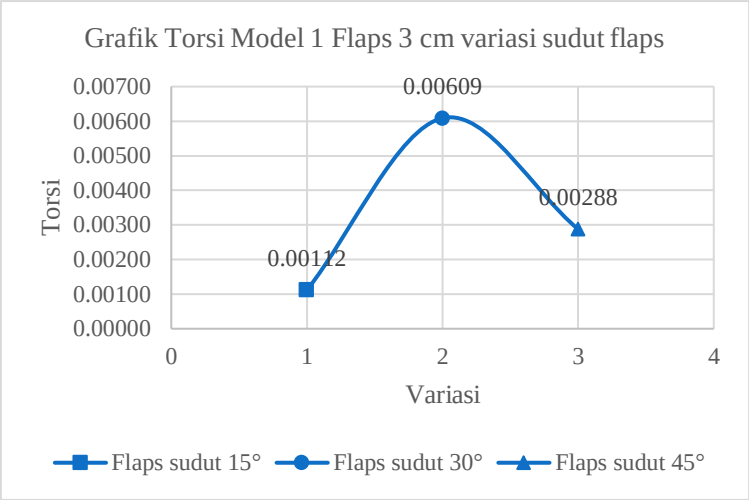
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs* C_Q variasi model 1 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 30° memiliki nilai TSR dan C_Q tertinggi dari ketiga variasi model 1 flaps 2 cm.

4.6.2 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 1 Flaps 3 cm

4.6.2.1 Torsi

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Torsi (Nm)
Flaps sudut 15°	0.00112
Flaps sudut 30°	0.00609
Flaps sudut 45°	0.00288



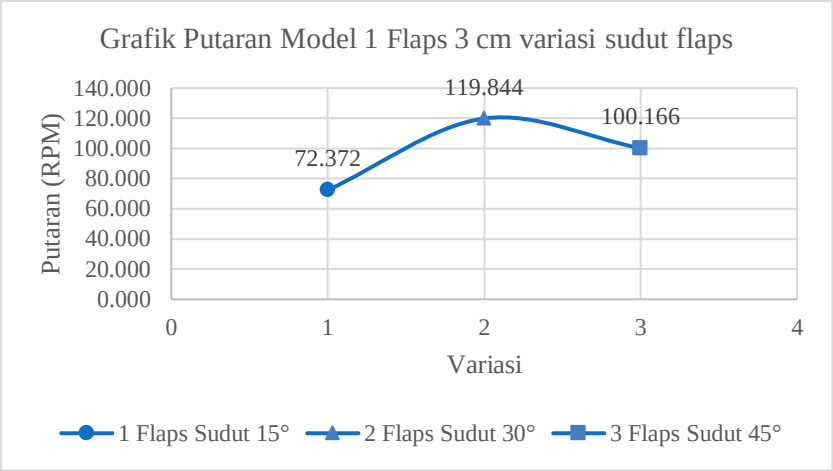
Gambar 4.81 Grafik Torsi Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa torsi model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain pada model 1 flaps 3 cm.

4.6.2.2 Putaran

Tabel 4.13 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Putaran (RPM)
Flaps sudut 15°	72.372
Flaps sudut 30°	119.844
Flaps sudut 45°	100.166



Gambar 4.82 Grafik Putaran Model 1 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

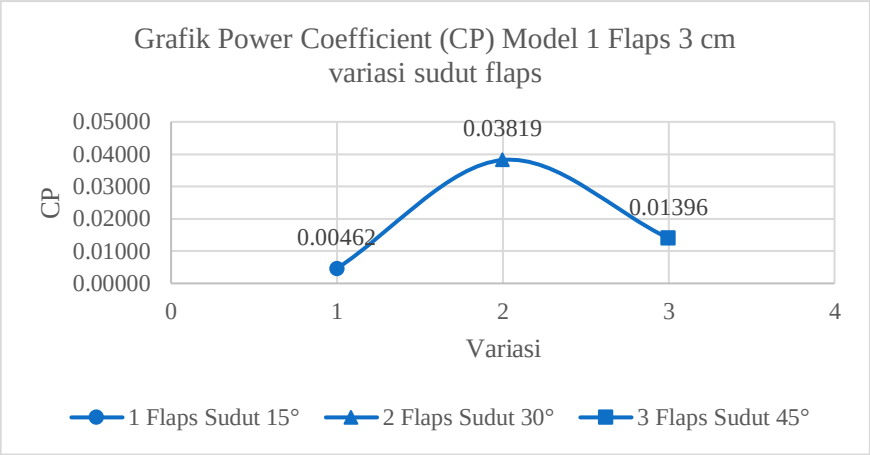
Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa putaran model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.2.3 Analisa *Power Coefficient*

Dalam menghitung nilai *power coefficient*, menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 sehingga didapatkan nilai P_{rotor} dan Cp yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.14 Nilai Cp Model 1 Flaps 3 cm

Variasi	T_{rotor}	ω_{rotor}	P_{rotor}	ρ	A	V^3	Cp
Flaps sudut 15°	0.00112	7.57876	0.00846	1.184	0.079	39.304	0.00462
Flaps sudut 30°	0.00609	12.55001	0.07640	1.184	0.086	39.304	0.03818
Flaps sudut 45°	0.00288	10.48936	0.03020	1.184	0.093	39.304	0.01402



Gambar 4.83 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 1 Flaps 3 cm variasi sudut flaps

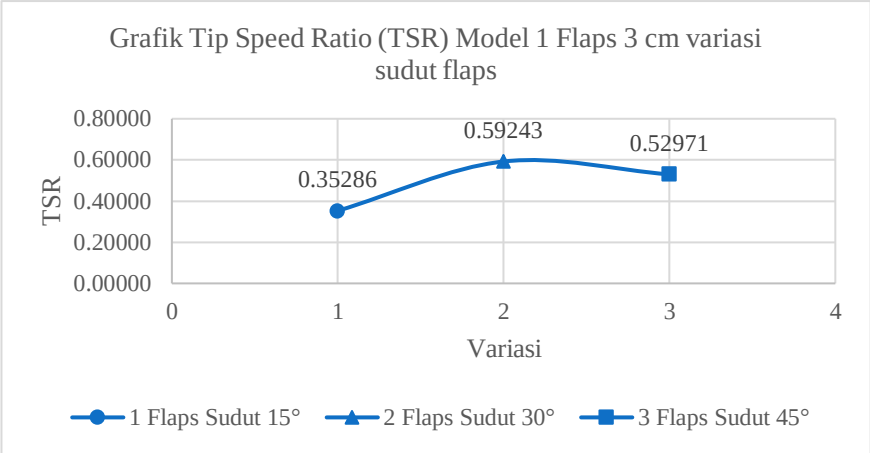
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *power coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.2.4 *Tip Speed Ratio*

Dalam menghitung niai *tip speed ratio (TSR)* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan nilai TSR yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.15 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 1 Flaps 3 cm

Variasi	R	Ω	V	λ
Flaps sudut 15°	0.15830	7.57876	3.4	0.35286
Flaps sudut 30°	0.16550	12.55001	3.4	0.61089
Flaps sudut 45°	0.17170	10.48936	3.4	0.52971



Gambar 4.84 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 1 Flaps 3 cm variasi sudut flaps

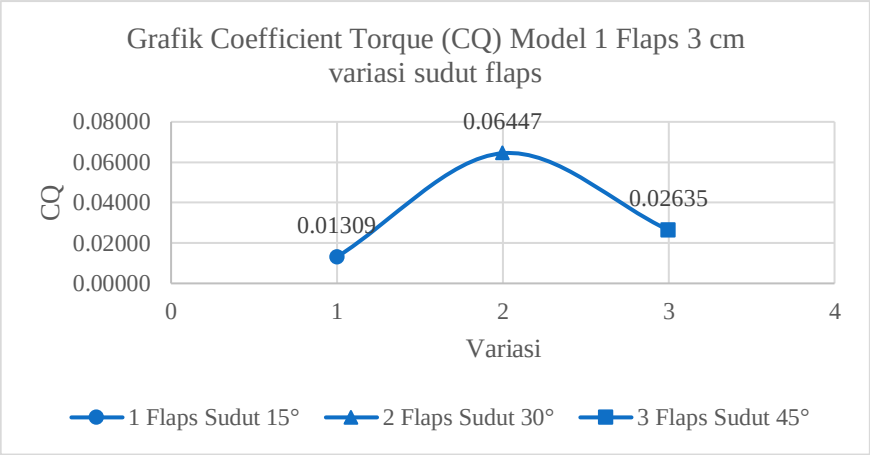
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *tip speed ratio* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.2.5 *Torque Coefficient*

Dalam menghitung niai *torque coefficient* menggunakan persamaan 2.5 sehingga didapatkan nilai C_Q yang disajikan dalam tabel berikut

Tabel 4.16 Nilai C_Q Model 1 Flaps 3 cm

Variasi	Cp	λ	C_Q
Flaps sudut 15	0.00462	0.35286	0.01310
Flaps sudut 30	0.03818	0.61089	0.06250
Flaps sudut 45	0.01402	0.52971	0.02647



Gambar 4.85 Grafik *Torque Coefficient* (C_Q) Model 1 Flaps 3 cm variasi sudut flaps

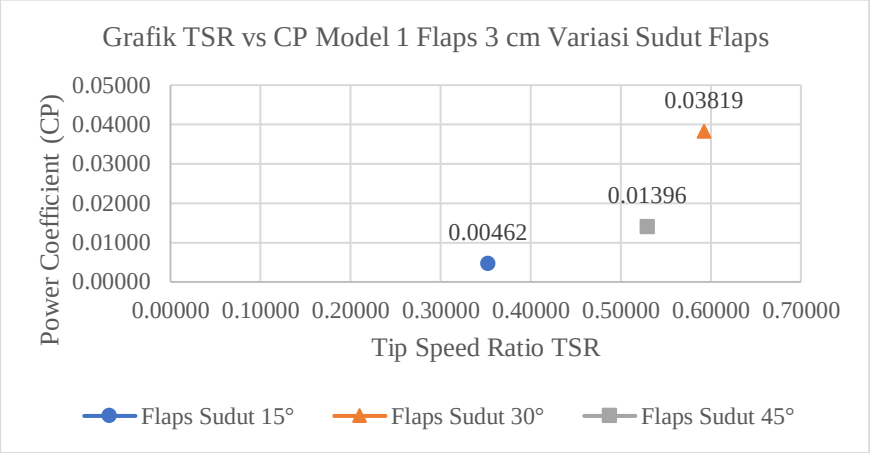
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *torque coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.2.6 *Tip Speed Ratio vs Power Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *power coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.86.

Tabel 4.17 Nilai TSR dan CP Model 1 Flaps 3 cm

Variasi	TSR	CP
Flaps Sudut 15°	0.35286	0.00462
Flaps Sudut 30°	0.59243	0.03819
Flaps Sudut 45°	0.52971	0.01396



Gambar 4.86 Grafik TSR vs CP Model 1 Flaps 2 cm

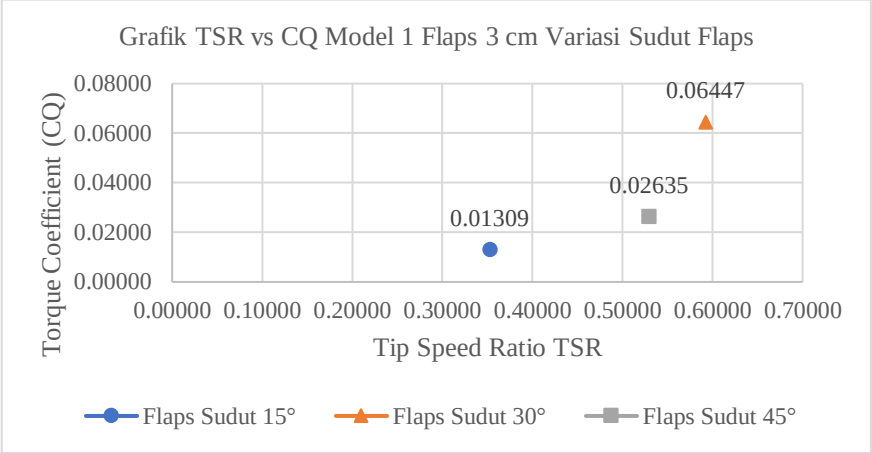
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs Cp* variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 30° memiliki nilai TSR dan CP tertinggi dari ketiga variasi model 1 flaps 3 cm.

4.6.2.7 *Tip Speed Ratio vs Torque Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *torque coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.87.

Tabel 4.18 Nilai TSR dan CQ Model 1 Flaps 3 cm

Variasi	TSR	CQ
Flaps Sudut 15°	0.35286	0.01309
Flaps Sudut 30°	0.59243	0.06447
Flaps Sudut 45°	0.52971	0.02635



Gambar 4.87 Grafik TSR vs C_Q Model 1 Flaps 3 cm

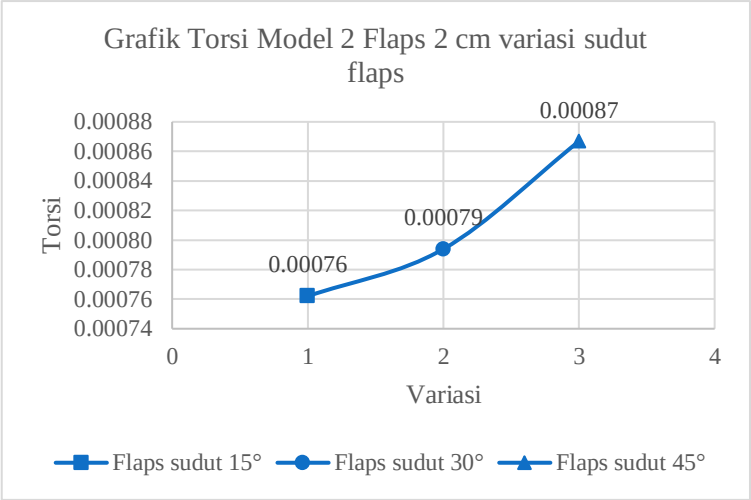
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs* C_Q variasi model 1 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 30° memiliki nilai TSR dan C_Q tertinggi dari ketiga variasi model 1 flaps 3 cm.

4.6.3 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 2 Flaps 2 cm

4.6.3.1 Torsi

Tabel 4.19 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Torsi (Nm)
Flaps sudut 15°	0.00076
Flaps sudut 30°	0.00079
Flaps sudut 45°	0.00087



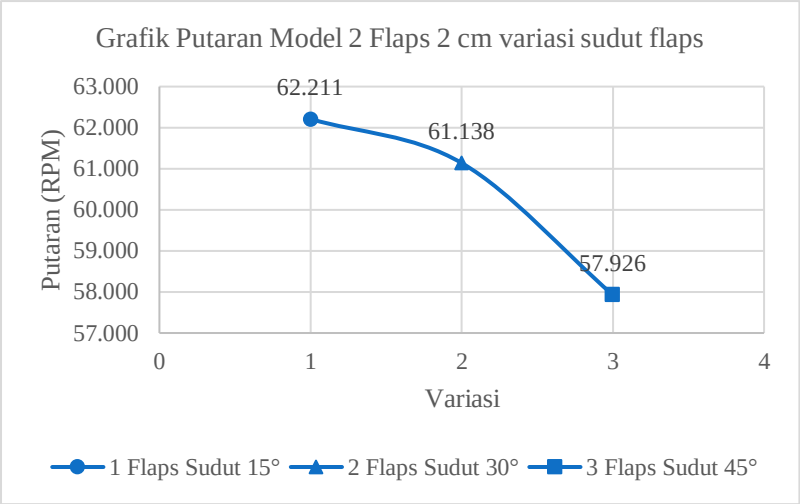
Gambar 4.88 Grafik Torsi Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa torsi model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain pada model 2 flaps 2 cm.

4.6.3.2 Putaran

Tabel 4.20 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Putaran (RPM)
Flaps sudut 15°	62.211
Flaps sudut 30°	61.138
Flaps sudut 45°	57.926



Gambar 4.89 Grafik Putaran Model 2 Flaps 2 cm Variasi Sudut Flaps

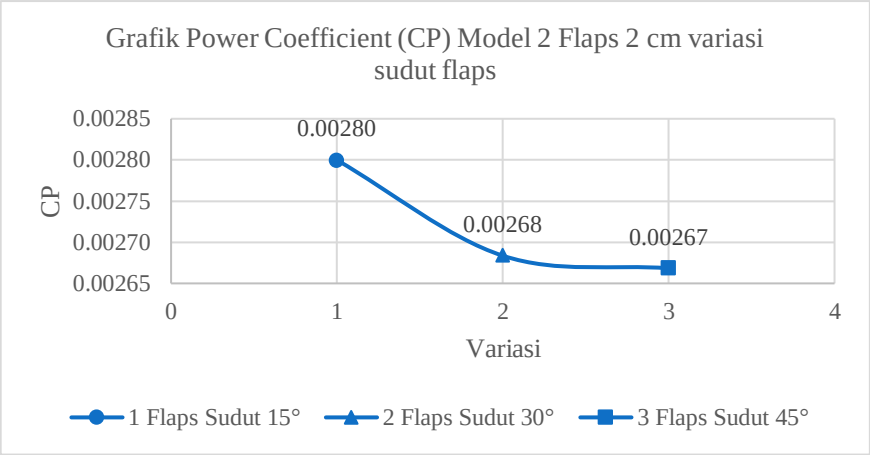
Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa putaran model turbin dengan variasi sudut flaps 15° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.3.3 *Power Coefficient*

Dalam menghitung nilai *power coefficient*, menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 sehingga didapatkan nilai P_{rotor} dan Cp yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.21 Nilai Cp Model 2 Flaps 2 cm

Variasi	T_{rotor}	ω_{rotor}	P_{rotor}	ρ	A	V^3	Cp
Flaps sudut 15°	0.00076	6.40233	0.00488	1.184	0.076	39.304	0.00275
Flaps sudut 30°	0.00079	6.06598	0.00482	1.184	0.081	39.304	0.00256
Flaps sudut 45°	0.00087	6.11058	0.00530	1.184	0.085	39.304	0.00267



Gambar 4.90 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 2 Flaps 2 cm variasi sudut flaps

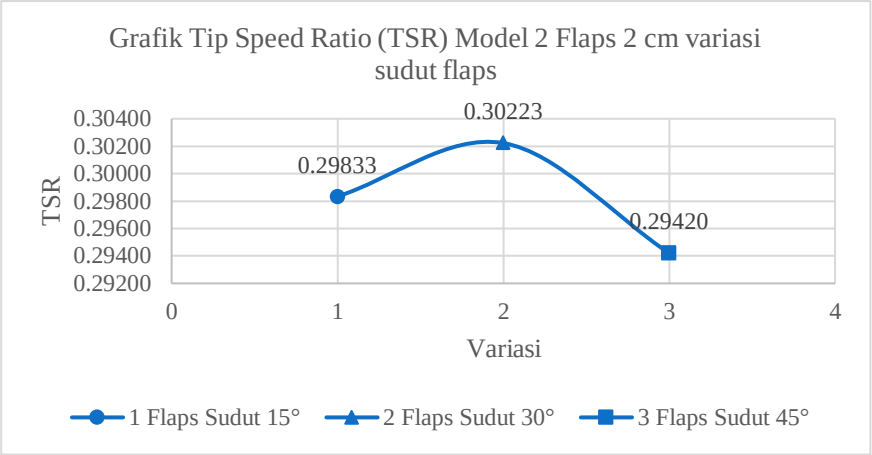
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *power coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 15° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.3.4 *Tip Speed Ratio*

Dalam menghitung niai *tip speed ratio (TSR)* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan nilai TSR yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.22 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 1 Flaps 3 cm

Variasi	R	Ω	V	λ
Flaps sudut 15°	0.15570	6.51470	3.4	0.29834
Flaps sudut 30°	0.16050	6.40233	3.4	0.30223
Flaps sudut 45°	0.16470	6.06598	3.4	0.29384



Gambar 4.91 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 2 Flaps 2 cm variasi sudut flaps

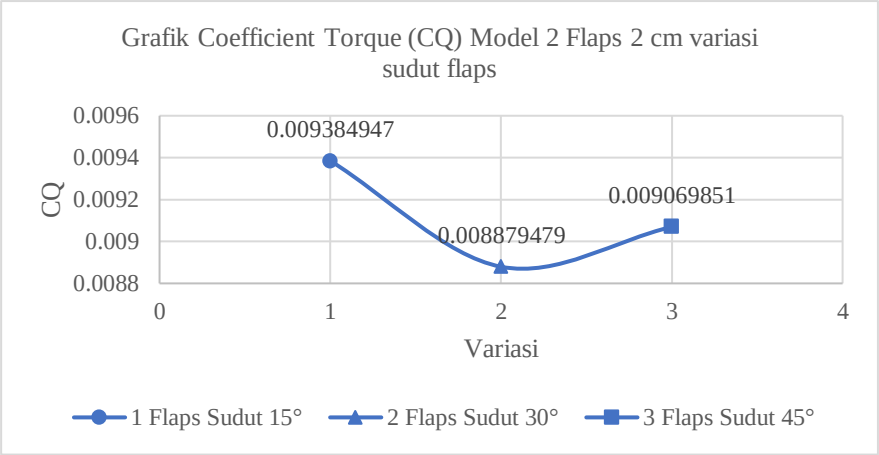
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *tip speed ratio* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.3.5 *Torque Coefficient*

Dalam menghitung niai *torque coefficient* menggunakan persamaan 2.5 sehingga didapatkan nilai C_Q yang disajikan dalam tabel berikut

Tabel 4.23 Nilai C_Q Model 2 Flaps 2 cm

Variasi	Cp	λ	CQ
Flaps sudut 15°	0.00275	0.29834	0.00923
Flaps sudut 30°	0.00256	0.30223	0.00847
Flaps sudut 45°	0.00267	0.29384	0.00910



Gambar 4.92 Grafik *Torque Coefficient* (C_Q) Model 2 Flaps 2 cm variasi sudut flaps

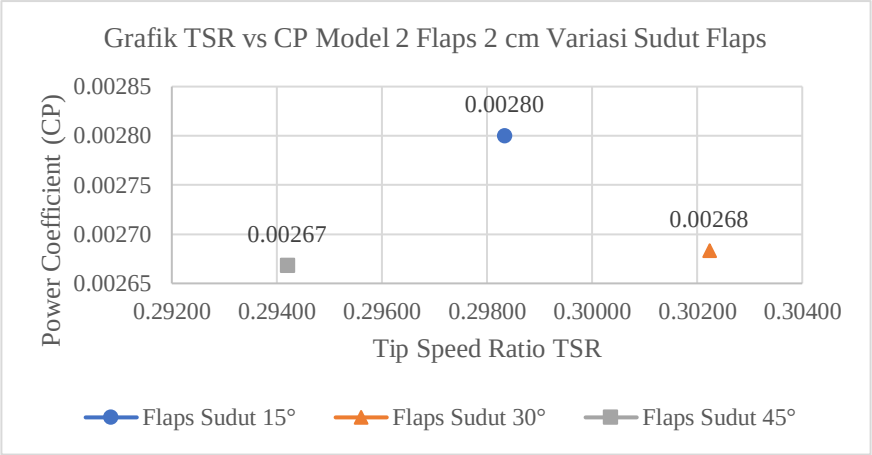
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *torque coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 15° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.3.6 *Tip Speed Ratio vs Power Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *power coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.93.

Tabel 4.24 Nilai TSR dan CP Model 2 Flaps 2 cm

Variasi	TSR	CP
Flaps Sudut 15°	0.29833	0.00280
Flaps Sudut 30°	0.30223	0.00268
Flaps Sudut 45°	0.29420	0.00267



Gambar 4.93 Grafik TSR vs CP Model 2 Flaps 2 cm

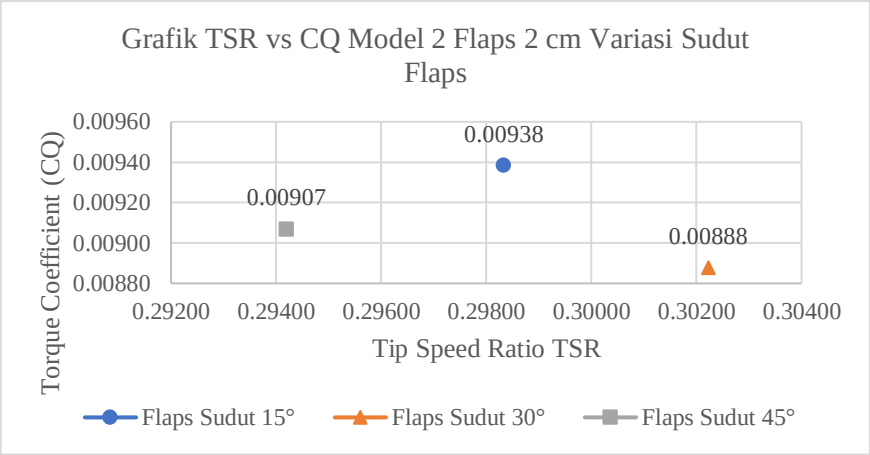
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs Cp* variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 15° memiliki nilai TSR dan CP tertinggi dari ketiga variasi model 2 flaps 2 cm

4.6.3.7 *Tip Speed Ratio vs Torque Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *torque coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.94.

Tabel 4.25 Nilai TSR dan CQ Model 2 Flaps 2 cm

Variasi	TSR	CQ
Flaps Sudut 15°	0.29833	0.00938
Flaps Sudut 30°	0.30223	0.00888
Flaps Sudut 45°	0.29420	0.00907



Gambar 4.94 Grafik TSR vs C_Q Model 2 Flaps 2 cm

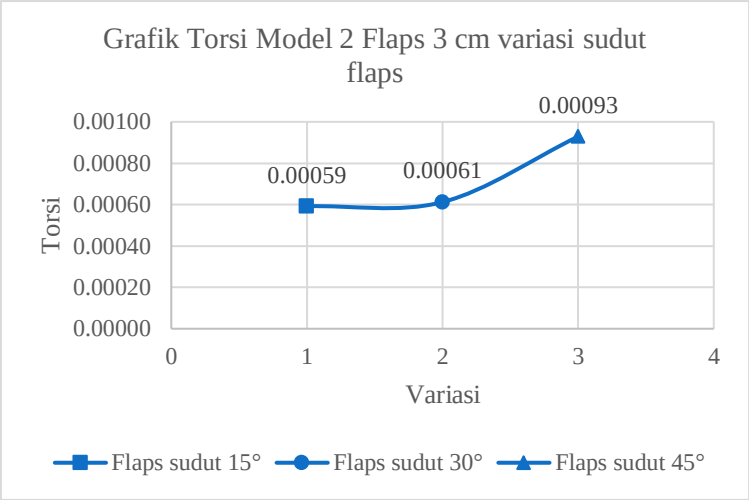
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs* C_Q variasi model 2 flaps 2 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 15° memiliki nilai TSR dan C_Q tertinggi dari ketiga variasi model 2 flaps 2 cm.

4.6.4 Analisa Hasil Simulasi Turbin Model 2 Flaps 3 cm

4.6.4.1 *Torsi*

Tabel 4.26 Hasil Simulasi Torsi Turbin Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Torsi (Nm)
Flaps sudut 15°	0.00059
Flaps sudut 30°	0.00061
Flaps sudut 45°	0.00093



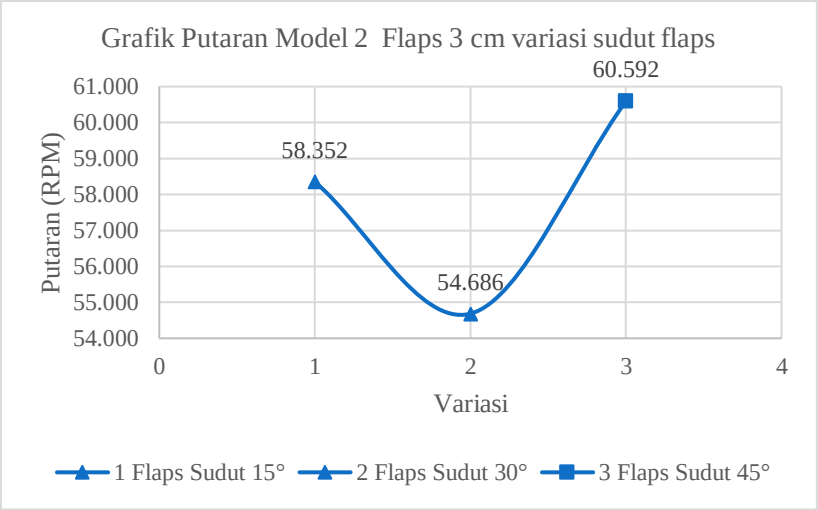
Gambar 4.95 Grafik Torsi Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa torsi model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain pada model 2 flaps 3 cm.

4.6.4.2 Putaran

Tabel 4.27 Hasil Simulasi Putaran Turbin Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

Variasi	Putaran (RPM)
Flaps sudut 15°	58.352
Flaps sudut 30°	54.686
Flaps sudut 45°	60.593



Gambar 4.96 Grafik Putaran Model 2 Flaps 3 cm Variasi Sudut Flaps

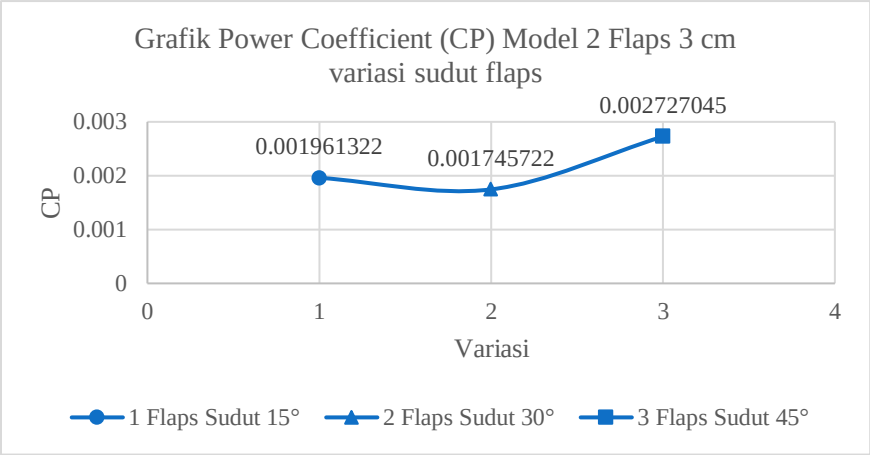
Berdasarkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa putaran model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.4.3 *Power Coefficient*

Dalam menghitung nilai *power coefficient*, menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 sehingga didapatkan nilai P_{rotor} dan Cp yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.28 Nilai Cp Model 2 Flaps 3 cm

Variasi	T_{rotor}	ω_{rotor}	P_{rotor}	ρ	A	V^3	Cp
Flaps sudut 15°	0.00059	6.11058	0.00362	1.184	0.079	39.304	0.00198
Flaps sudut 30°	0.00061	5.72667	0.00351	1.184	0.086	39.304	0.00175
Flaps sudut 45°	0.00093	6.34528	0.00589	1.184	0.093	39.304	0.00274



Gambar 4.97 Grafik *Power Coefficient* (CP) Model 2 Flaps 3 cm variasi sudut flaps

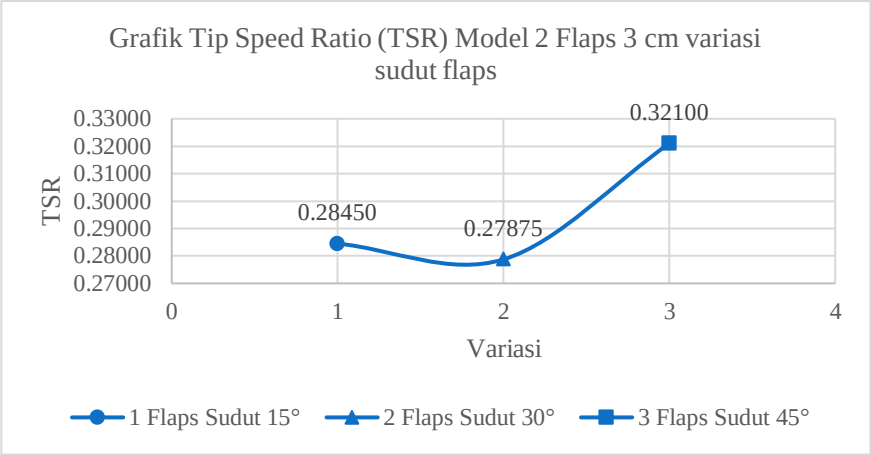
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *power coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 30° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.4.4 *Tip Speed Ratio*

Dalam menghitung niai *tip speed ratio (TSR)* menggunakan persamaan 2.4 sehingga didapatkan nilai TSR yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.29 Nilai *Tip Speed Ratio* Model 2 Flaps 3 cm

Variasi	R	Ω	V	λ
Flaps sudut 15°	0.15830	6.11058	3.4	0.28450
Flaps sudut 30°	0.16550	5.72667	3.4	0.27875
Flaps sudut 45°	0.17170	6.34528	3.4	0.32044



Gambar 4.98 Grafik *Tip Speed Ratio (TSR)* Model 2 Flaps 3 cm variasi sudut flaps

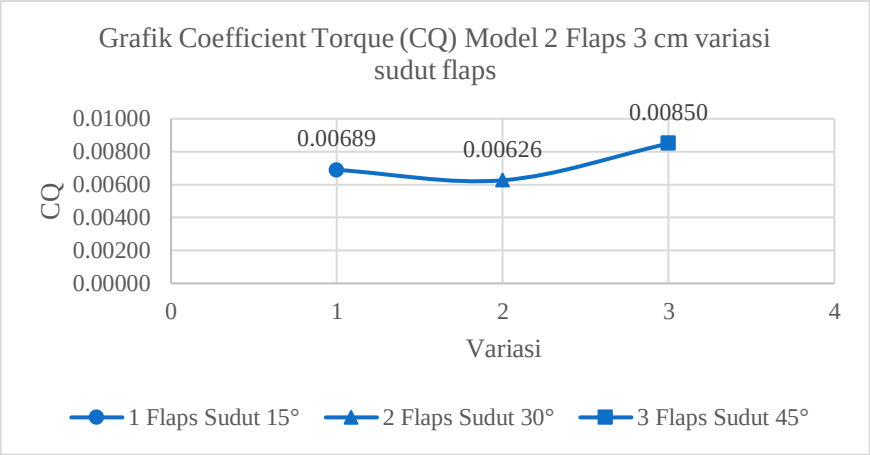
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *tip speed ratio* model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.4.5 *Torque Coefficient*

Dalam menghitung niai *torque coefficient* menggunakan persamaan 2.5 sehingga didapatkan nilai C_Q yang disajikan dalam tabel berikut

Tabel 4.30 Nilai C_Q Model 2 Flaps 3 cm

Variasi	*Cp*	*λ*	C_Q
Flaps sudut 15°	0.00198	0.28450	0.00694
Flaps sudut 30°	0.00175	0.27875	0.00628
Flaps sudut 45°	0.00274	0.32044	0.00854



Gambar 4.99 Grafik *Torque Coefficient* (C_Q) Model 2 Flaps 3 cm variasi sudut flaps

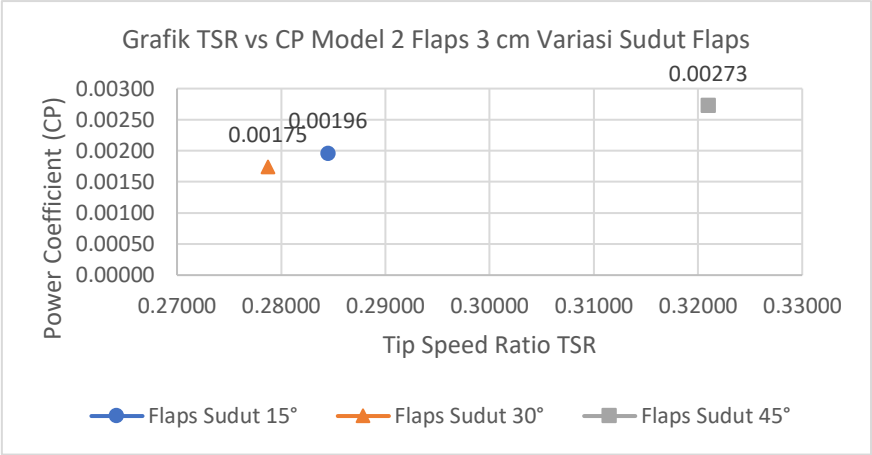
Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik perbandingan variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa *torque coefficient* model turbin dengan variasi sudut flaps 45° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kedua variasi yang lain.

4.6.4.6 *Tip Speed Ratio vs Power Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *power coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.100.

Tabel 4.31 Nilai TSR dan CP Model 2 Flaps 3 cm

Variasi	TSR	CP
Flaps Sudut 15°	0.28450	0.00196
Flaps Sudut 30°	0.27875	0.00175
Flaps Sudut 45°	0.32100	0.00273



Gambar 4.100 Grafik TSR vs CP Model 2 Flaps 3 cm

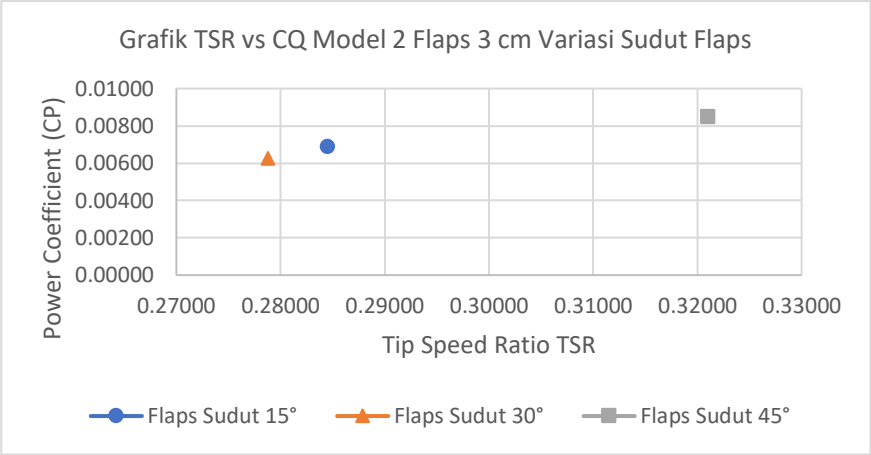
Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs Cp* variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 45° memiliki nilai TSR dan CP tertinggi dari ketiga variasi model 2 flaps 3 cm.

4.6.4.7 *Tip Speed Ratio vs Torque Coefficient*

Berikut ini merupakan tabel dan grafik *tip speed ratio* vs *torque coefficient*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Gambar 4.101.

Tabel 4.32 Nilai TSR dan CQ Model 2 Flaps 3 cm

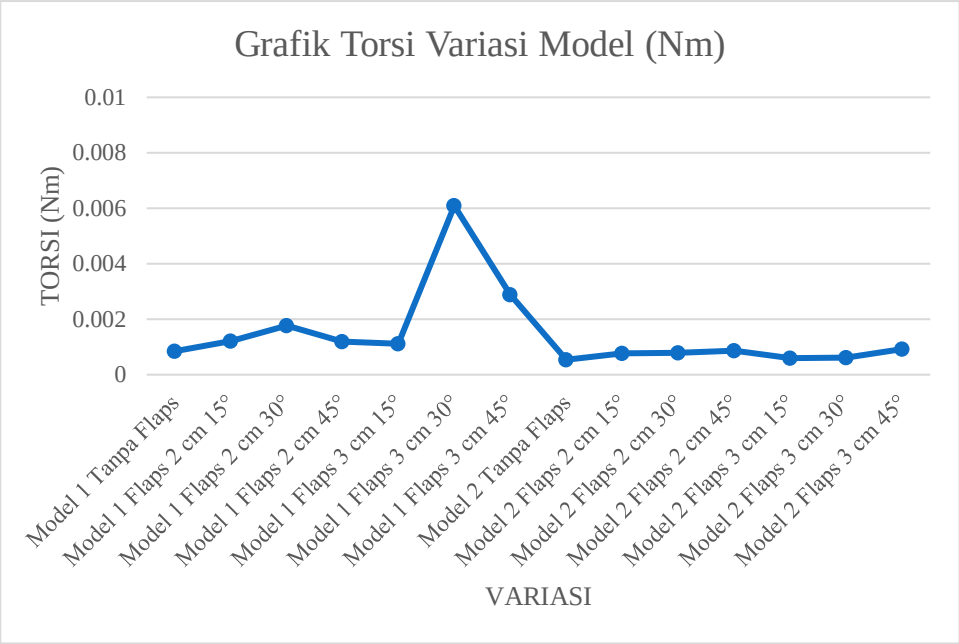
Variasi	TSR	CQ
Flaps Sudut 15°	0.28450	0.00689
Flaps Sudut 30°	0.27875	0.00626
Flaps Sudut 45°	0.32100	0.00850



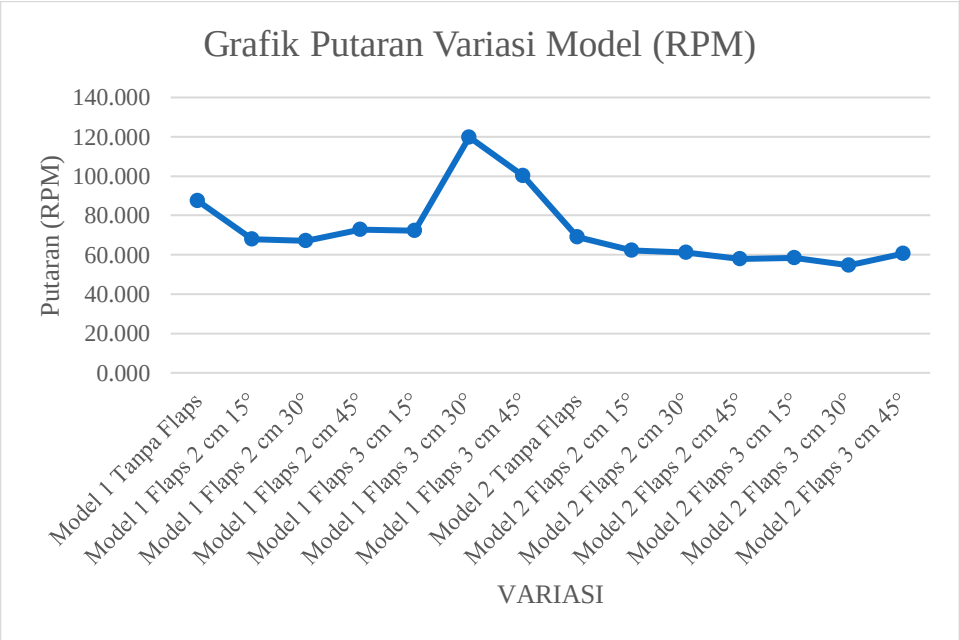
Gambar 4.101 Grafik TSR vs C_Q Model 2 Flaps 3 cm

Berdasarkan grafik perbandingan *tip speed ratio vs* C_Q variasi model 2 flaps 3 cm dengan variasi sudut flaps 15°, 30° dan 45°. Didapatkan bahwa Flaps dengan sudut 45° memiliki nilai TSR dan C_Q tertinggi dari ketiga variasi model 2 flaps 3 cm.

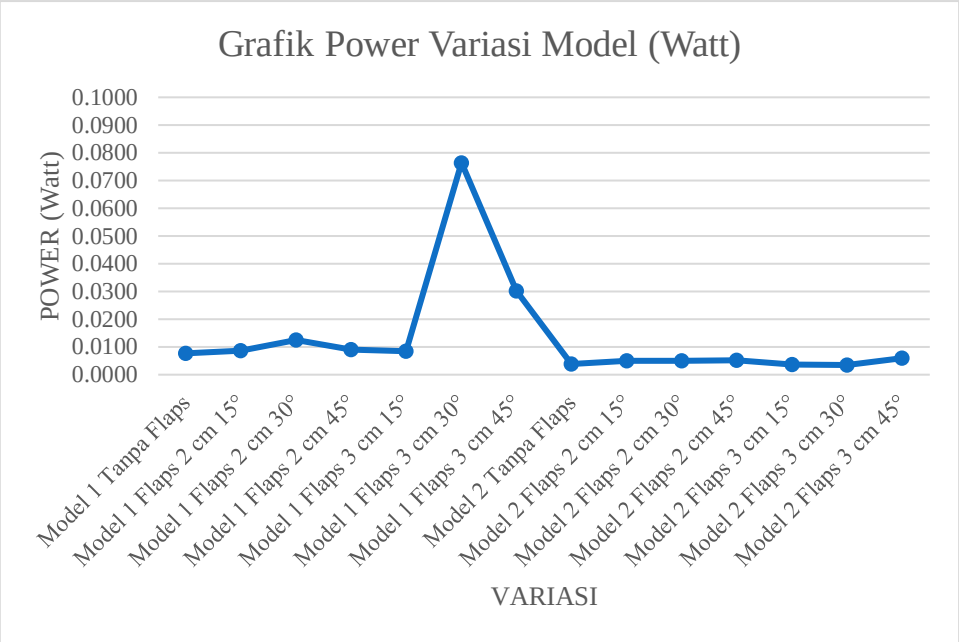
Berikut ini grafik torsi hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.90. Grafik putaran atau RPM hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.91. Keseluruhan hasil perhitungan power dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 4.103. Sedangkan keseluruhan hasil perhitungan *power, power coefficient, tip speed ratio dan torque coefficient* dapat dilihat pada Tabel 4.33.



Gambar 4.102 Grafik Torsi Hasil Simulasi Variasi Seluruh Model



Gambar 4.103 Grafik Putaran Hasil Simulasi Variasi Seluruh Model



Gambar 4.104 Grafik Hasil Perhitungan Power Variasi Model *Screw Turbine*

Tabel 4.33 Nilai *Power, Cp, TSR dan* C_Q

Variasi Model	Nilai			
	Power	*Cp*	*TSR*	C_Q
Model 1 Tanpa Flaps	0.0078	0.0047	0.4041	0.0116
Model 1 Flaps 2 cm 15°	0.0086	0.0049	0.3262	0.0149
Model 1 Flaps 2 cm 30°	0.0124	0.0066	0.3314	0.0199
Model 1 Flaps 2 cm 45°	0.0091	0.0046	0.3697	0.0124
Model 1 Flaps 3 cm 15°	0.0085	0.0046	0.3529	0.0131
Model 1 Flaps 3 cm 30°	0.0764	0.0382	0.6109	0.0625
Model 1 Flaps 3 cm 45°	0.0302	0.0140	0.5297	0.0265
Model 2 Tanpa Flaps	0.0039	0.0024	0.3184	0.0075
Model 2 Flaps 2 cm 15°	0.0050	0.0028	0.2983	0.0092
Model 2 Flaps 2 cm 30°	0.0051	0.0026	0.3022	0.0085
Model 2 Flaps 2 cm 45°	0.0053	0.0028	0.2938	0.0091

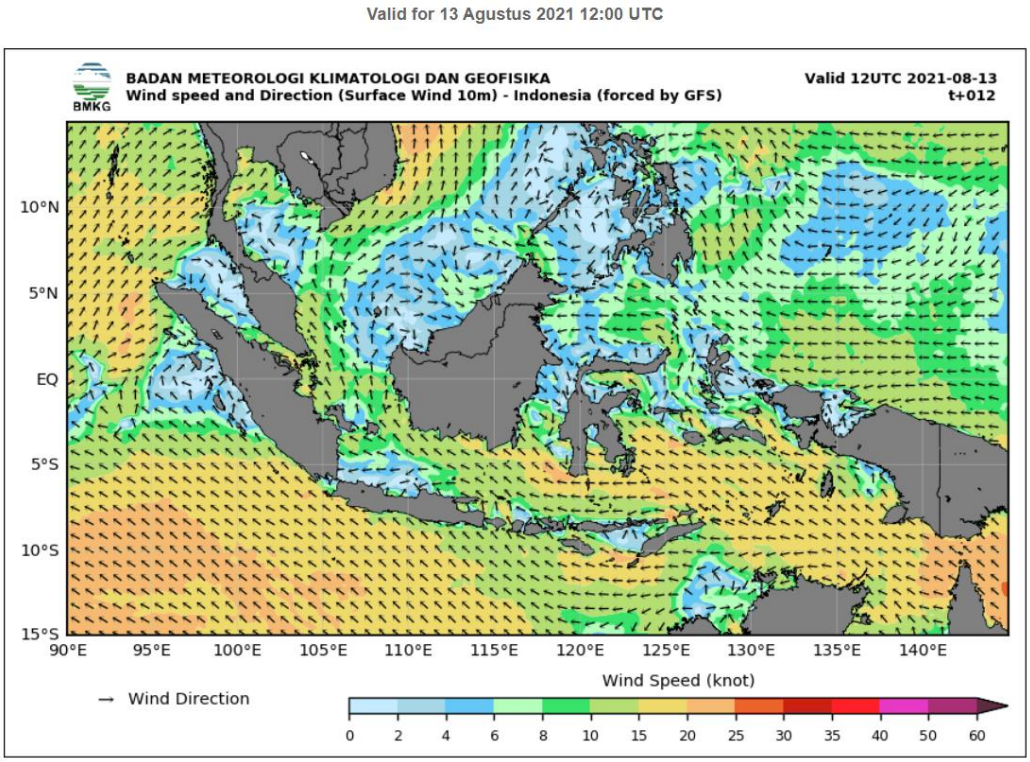
Model 2 Flaps 3 cm 15°	0.0036	0.0020	0.2845	0.0069
Model 2 Flaps 3 cm 30°	0.0035	0.0018	0.2788	0.0063
Model 2 Flaps 3 cm 45°	0.0059	0.0027	0.3204	0.0085

4.7 Komparasi Hasil Simulasi *Screw Turbin*

1. Pada model 1 dengan penambahan flaps jika dibandingkan dengan model 1 tanpa flaps. Pada model 1 dengan penambahan flaps memiliki torsi yang lebih tinggi dibandingan tanpa penambahan flaps. Demikian juga pada model 2 dengan penambahan flaps jika dibandingkan dengan model 2 tanpa flaps memiliki torsi yang lebih tinggi. Ini berarti dengan penambahan flaps dapat meningkatkan nilai torsi pada model turbin 1 dan 2.
2. Pada model 1 flaps dengan variasi ukuran flaps 2 cm dan 3cm. Didapatkan bahwa pada ukuran flaps 2 cm torsi tertinggi pada variasi sudut flaps 30° dengan torsi 0.00177 Nm dan putaran 7.0190 rad/s. Sedangkan pada ukuran flaps 3 cm, torsi tertinggi pada variasi sudut flaps 30° dengan torsi 0.00609 Nm dan putaran 12.55 rad/s. Ini berarti dengan penambahan ukuran flaps dapat meningkatkan torsi yang akan dihasilkan.
3. Pada model 2 flaps dengan variasi ukuran flaps 2 cm dan 3 cm. Didapatkan bahwa pada ukuran flaps 2 cm torsi tertinggi pada variasi sudut flaps 45° dengan torsi 0.00087 Nm dan putaran 6.06598 rad/s. Sedangkan pada ukuran flaps 3 cm, torsi tertinggi pada variasi sudut flaps 45° dengan torsi 0.00093 Nm dan putaran 6.34528 rad/s. Ini berarti dengan penambahan ukuran flaps dapat meningkatkan torsi yang akan dihasilkan.
4. Model 1 dan 2 memiliki persamaan jumlah uliran sebanyak 3 uliran. Tetapi memiliki perbedaan panjang turbin, model 1 memiliki panjang sekitar 50 cm sedangkan model 2 memiliki panjang 75 cm sehingga berpengaruh pada ukuran lebar dari pitch. Jika dilihat dari hasil simulasi ukuran pitch berpengaruh pada torsi yang dihasilkan, model dengan pitch yang lebar memberikan pengaruh terhadap penurunan torsi. Jika dilihat dari sudut flaps,

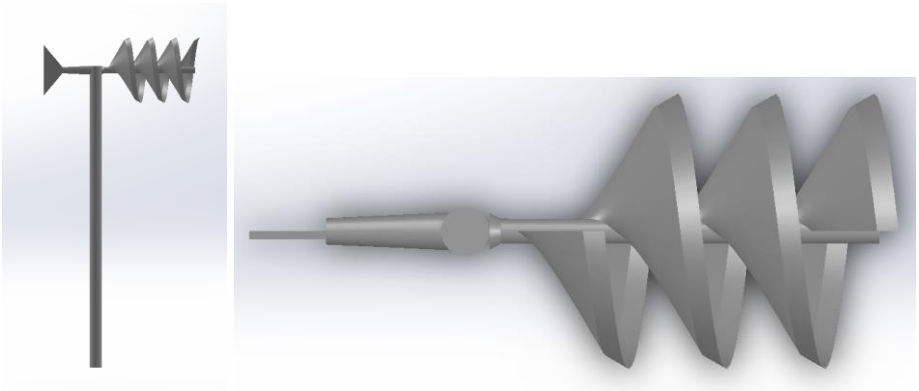
model 2 memerlukan sudut flaps yang lebih lebar untuk meningkatkan torsi dibandingkan model 1 yang memiliki besar sudut yang lebih rendah daripada model 2.

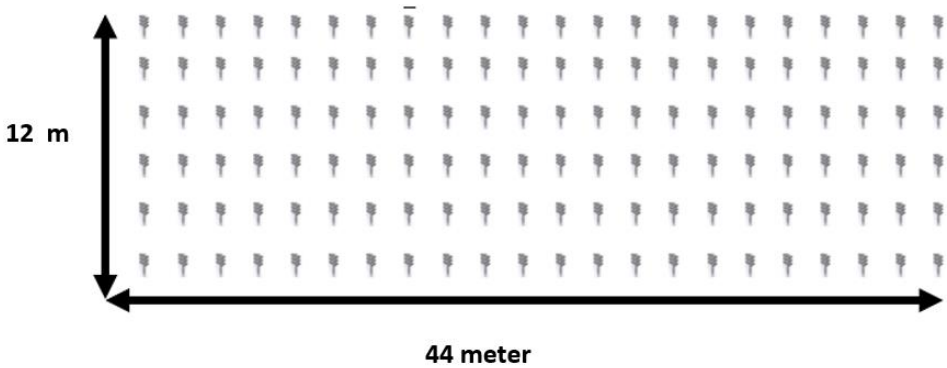
4.8 Pengaplikasian Model 1 Flaps 3 cm 30° Jari-Jari Ulir 15 cm



Gambar 4.105 Peta maritim BMKG

Menurut peta maritim Badan Meterorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG), kecepatan angin 3.4 m/s dapat ditemukan di kecepatan angin 6-8 knot atau 3.1 – 4.12 m/s didaerah Pantai Remen Tuban Jawa Timur. Didaerah pesisir pantai tersebut terdapat warung-warung kecil. Diasumsikan 1 warung kecil membutuhkan lampu untuk penerangan sebesar 10 watt. Dengan *power* satu turbin model 1 flaps 3 cm 30° jari-jari ulir 15 cm sebesar 0.076 watt maka untuk memenuhi satu lampu untuk satu warung 10 watt memerlukan sekitar 132 buah turbin.. Berikut ilustrasi penempatan turbin jika digunakan.





Gambar 4.106 *Array* penempatan *screw turbine* di pesisir Pantai Remen Tuban Jawa Timur

Dengan luas area 528 m^2 yang dibutuhkan untuk 132 buah turbin dibandingkan dengan daya yang dihasilkan, sehingga penggunaan turbin ini untuk pemenuhan kebutuhan daya lampu warung kecil di pesisir pantai remen Tuban Jawa Timur tidak efisien dan tidak disarankan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
KESIMPULAN

5.1 Gambaran Umum Penelitian

Energi baru terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sumber energi listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu energi angin. Dikarenakan posisi Indonesia yang berada di khatulistiwa karakteristik angin yang ada relatif menengah dengan pergerakan arah angin dan kecepatan angin yang berubah-ubah. Sehingga diperlukan diversifikasi jenis turbin angin untuk mengekstraksi energi angin. Turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan screw turbine atau archimedes screw turbine (AST) atau turbin ulir yang biasa digunakan untuk pembangkit listrik mikrohidro. Penggunaan *screw turbine* untuk pembangkit listrik mikrohidro digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi. Pada beberapa studi eksperimen mengenai *screw turbine* atau ASG menunjukkan efisiensi tinggi dapat dicapai dan dipertahankan dengan mengatur arus air yang masuk melewati turbin (Dellinger *et al.*, 2018)(Lyons and Lubitz, 2013a).

Screw turbine ini akan menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Penggunaan sumbu horizontal memiliki kelebihan yaitu efisiensi yang dihasilkan rotor lebih tinggi jika dibandingkan tipe vertikal, turbin dapat diarahkan dengan arah datangnya angin dan mempunyai mekanisme perlindungan terhadap angin yang merusak(Hidayatullah and Ningrum, 2017). Pada penelitian ini *screw turbine* akan dimodifikasi dengan penambahan flaps pada ulir turbin agar dapat mengekstraksi energi angin. Penambahan flaps pada pesawat berfungsi untuk mengarahkan aliran udara sehingga terbukti mampu memberikan tambahan gaya angkat pada pesawat(Suyitmadi, 2000). Oleh karena itu penerapan penambahan flaps akan dianalisa dalam penelitian tugas akhir ini. Performansi dari screw turbine ini dapat dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*.

5.2 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini telah dilakukan penelitian mengenai *Analisa Desain Screw turbine Dengan Modifikasi Penambahan Flaps Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics* dengan kesimpulan sebagai berikut.

1. Model desain *screw turbine* 1 dan 2 terbukti mampu untuk mengekstraksi energi angin dengan didapatkannya torsi dan kecepatan sudut dari simulasi model *screw turbine* yang telah dilakukan;
2. Analisa performasi dari desain model *screw turbine* dengan penambahan flaps terbukti mampu untuk meningkatkan nilai torsi pada model 1 dan model 2. Selain itu, pelebaran pitch berpengaruh pada nilai torsi yang dihasilkan, pada model 2 pitch lebih lebar daripada model 1 didapatkan nilai torsi yang lebih kecil daripada model 1. Pada penelitian ini didapatkan torsi dan kecepatan sudut tertinggi pada model 1 dengan penambahan flaps 3 cm variasi sudut flaps 30° dengan nilai torsi 0.00609 Nm dan putaran 12.55 rad/s.

5.3 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini diharapkan dapat melakukan berbagai variasi seperti desain model (sudut ulir, pitch, variasi sudut flaps, ukuran flaps, jenis material), dimensi model, kecepatan aliran, sudut/arah datangnya angin. Sehingga akan diperoleh model turbin yang memiliki desain optimal untuk mengekstraksi energi angin.

2. Diperlukan pemahaman yang mendalam untuk melakukan lanjutan penelitian ini dikarenakan penelitian baru sehingga referensi yang ada sangat minim.

3. Diperlukan rencana penelitian yang matang dengan melihat realitas yang ada sehingga dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan tepat waktu.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Brada, K. (1999) '"Wasserkraftschnecke ermöglicht Stromerzeugung über Kleinkraftwerke [Hydraulic screw generates electricity from micro hydropower stations]."', 105(14), pp. 52–56.

Daryanto, Y. (2007) 'Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu', *Blueprint*, (April).

Dellinger, G. *et al.* (2018) 'Computational fluid dynamics modeling for the design of Archimedes Screw Generator', *Renewable Energy*. doi: 10.1016/j.renene.2017.10.093.

Drs. Soerjadi Wirjohamidjojo dan and Sugarin (2008) *Praktek Meteorologi Kelautan*.

Erinofiardi *et al.* (2017) 'Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination', in *Energy Procedia*. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.094.

Hadi, B. K. (2000) 'Mekanika Struktur Komposit', *Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Ma-syarakat Direktorat Jenderal Pendi-dikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, Hal*.

Hidayatullah, N. A. and Ningrum, H. N. K. (2017) 'Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker', *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*. doi: 10.32486/jeecae.v1i1.5.

Jang, H. *et al.* (2019) 'Analysis of Archimedes spiral wind turbine performance by simulation and field test', *Energies*. doi: 10.3390/en12244624.

Japan For Sustainability (JFS) (2008) *Micro Hydropower System with Spiral Water Turbine under Development*.

Lashofer, A., Hawle, W. and Pelikan, B. (2012) 'State of technology and design guidelines for the Archimedes screw turbine', *The international Journal on Hydropower & Dams, Hydro 2012 - Proceedings*.

Lyons, M. and Lubitz, W. D. (2013a) 'Archimedes screws for microhydro power

generation', in *ASME 2013 7th Int. Conf. on Energy Sustainability Collocated with the ASME 2013 Heat Transfer Summer Conf. and the ASME 2013 11th Int. Conf. on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, ES 2013*. doi: 10.1115/ES2013-18067.

Lyons, M. and Lubitz, W. D. (2013b) 'ES2013-18067', (1999), pp. 1–7.

Manwell, J. F., McGowan, J. G. and Rogers, A. L. (2010) *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. doi: 10.1002/9781119994367.

Numeca (2020) 'User Guide Hexpress 10.1', *Computer*, 0(September), pp. 169–232.

Pradana, A. N. (2020) *ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN PROPELLER BOSS CAP FINS PADA PERFORMA SKEWED PROPELLER DENGAN METODE CFD*.

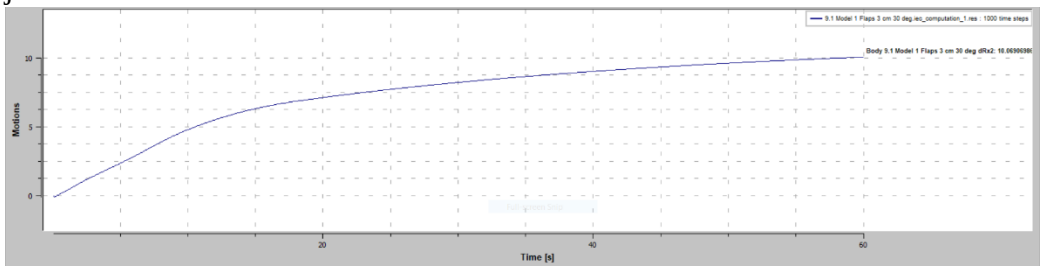
Saroinsong, T. *et al.* (2016) 'Fluid Flow Phenomenon in a Three-Bladed Power-Generating Archimedes Screw Turbine', *Journal of Engineering Science and Technology Review*. doi: 10.25103/jestr.092.12.

Schwer, L. E. (2008) 'Is your mesh refined enough? Estimating Discretization Error using GCI', *7th LS-DYNA Anwenderforum*, 1(1), pp. 45–54.

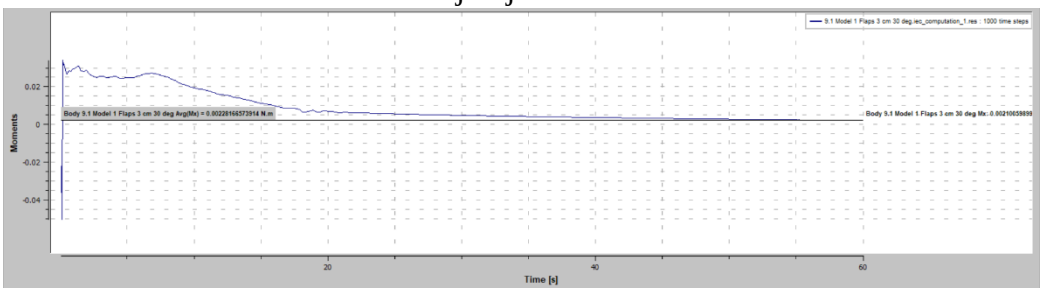
Suyitmadi (2000) 'Analisis Kinerja Flap Sebagai Penambah Koefisien Gaya Angkat'.

Lampiran

1. Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 30 deg kecepatan 3.4 m/s variasi jari jari ulir 18 cm

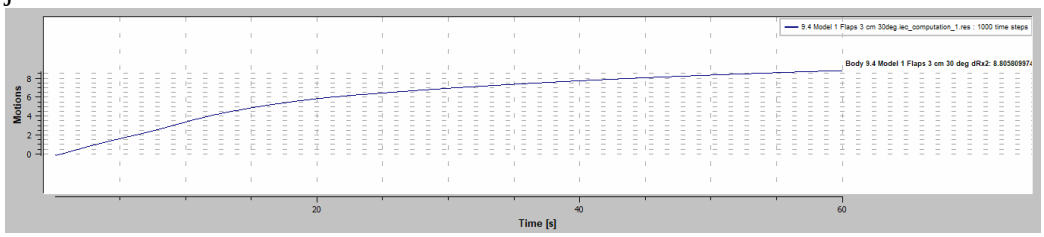


Grafik Putaran/Kecepatan Sudut Model 1 Flaps 3 cm 30 deg kecepatan 3.4 m/s variasi jari jari ulir 18 cm

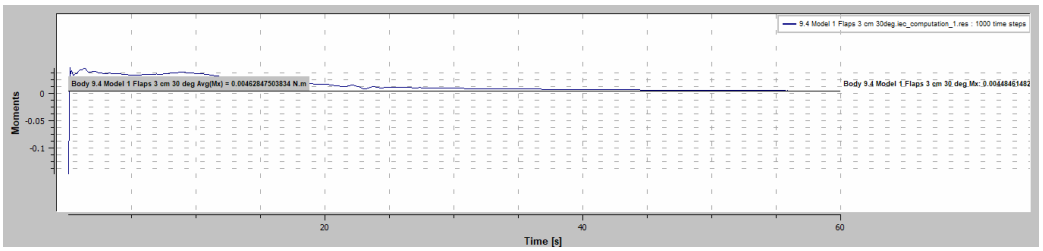


Grafik Torsi Model 1 Flaps 3 cm 30 deg kecepatan 3.4 m/s variasi jari jari ulir 18 cm

2. Hasil Simulasi Model 1 Flaps 3 cm 30 deg kecepatan 3.4 m/s variasi jari jari ulir 21 cm



Grafik Putaran/Kecepatan Sudut Model 1 Flaps 3 cm 30 deg kecepatan 3.4 m/s variasi jari jari ulir 21 cm



Grafik Torsi Model 1 Flaps 3 cm 30 deg kecepatan 3.4 m/s variasi jari jari ulir 21 cm

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Noerendik Fuathur Farhan yang lahir di Madiun 11 september 1999. Penulis menempuh pendidikan dtaman kanak kanak di TK Dharma Wanita Bongsopotro, Saradan Kab. Madiun. Melanjutkan jenjang sekolah dasar di SDN Bongsopotro 2 Kab. Madiun. Kemudian melanjutkan jenjang sekolah menengah atas pertama di SMPN 1 Mejayan Kab. Madiun. Kemudian melanjutkan ke sekolah menengah atas di SMAN 1 Mejayan Kab. Madiun. Dan pada tahun 2017 diberikan kesempatan untuk mengenyam di pendidikan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Pada tahun kedua perkuliahan penulis berfokus pada bidang laboratorium *Marine Electrical and Automation System*. Selama berkuliah penulis telah melakukan dua kali kerja praktek yaitu yang pertama di PT. Daya Radar Utama Shipyard dan yang kedua di laboratorium *Marine Electrical and Automation System*. Selain akademik penulis juga aktif dalam berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS sebagai staff kesejahteraan mahasiswa dan kepenguruan selanjutnya sebagai staf ahli dan sekretaris di biro keilmiahan. Penulis juga pernah meraih 5 gelar kejuaraan pada bidang karya tulis ilmiah antara lain di tingkat institut pernah meraih juara 1 pekan kreativitas mahasiswa supernova 2019 bidang karsa cipta, ditingkat nasional penulis pernah meraih juara 2 pada pada Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional (LKTIN) yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo, juara 3 pada Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional BORN (Biology Innovation and Research Competition) 5 yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Biologi Universitas Negeri Jember, juara 1 pada Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional TRANSFEST 2020 yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Transportasi Laut ITS, dan juara 3 pada Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional Mechanical and Marine Engineering National Exposition 2020 yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Apabila ingin menghubungi penulis dapat melalui email noerendik@gmail.com.