SKRIPSI

ANALISA PERFORMA *HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE* (HAWT) SKALA KECIL MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Disusun dan diajukan oleh:

ZINSAISAL BAKRI

D091191038

PROGRAM STUDI TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISA PERFORMA *HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE* (HAWT) SKALA KECIL MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Disusun dan diajukan oleh

ZINSAISAL BAKRI
D091191038

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 26 JUNI 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
Menyetujui,

Pembimbing Utama,	Pembimbing Pendamping,
Dr.Eng.Ir. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng.,IPM	Muhammad Iqbal Nikmatullah, ST., MT.
NIP. 198102112005011003	NIP. 198701312019031007

Ketua Program Studi,

Dr.Eng.Ir. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng.,IPM
NIP. 198102112005011003

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Zinsaisal Bakri

NIM : D091191038

Departement : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

ANALISA PERFORMA *HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE* (HAWT) SKALA KECIL MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD).

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,

Zinsaisal Bakri

ABSTRAK

ZINSAISAL BAKRI. *Analisa Performa Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Skala Kecil Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)* (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. dan Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T.)

Perkembangan turbin angin skala besar telah mengubah lanskap energi terbarukan, namun perhatian pada turbin angin skala kecil tetap relevan untuk meningkatkan efisiensi energi. Di daerah dengan kecepatan angin rendah, turbin angin skala kecil, khususnya turbin sumbu horizontal (HAWT), menjadi prioritas untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya terbarukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi performa turbin angin HAWT skala kecil pada kecepatan angin yang bervariasi. Melalui analisis kuantitatif dan kualitatif, penelitian bertujuan untuk memahami bagaimana turbin angin merespon perubahan kecepatan angin, khususnya pada kecepatan 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan memberikan wawasan yang mendalam tentang potensi energi terbarukan di daerah dengan kecepatan angin rendah. Metode penelitian melibatkan pengumpulan data spesifikasi turbin angin, pemodelan menggunakan SolidWorks 2019, dan simulasi CFD dengan Ansys CFX R2 2020. Hasil simulasi divalidasi dengan perbandingan antara Ansys CFX R2 2020 dan QBlade Versi 0.963.1. Analisis dilakukan untuk menentukan daya turbin angin pada berbagai kecepatan angin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 6 m/s, turbin angin HAWT skala kecil mencapai nilai torsi tertinggi sebesar 0,76 N.m, dan daya maksimal sebesar 27,52 Watt. Dengan demikian, kecepatan angin 6 m/s diidentifikasi sebagai kecepatan optimal untuk kinerja turbin angin HAWT. Dari hasil validasi simulasi dengan membandingkan antara simulasi Ansys dan simulasi QBlade menunjukkan adanya perbedaan yang kecil, pada perbandingan Ansys dan QBlade dengan selisih terbesar pada kecepatan 3 m/s sebesar 1,17% sehingga batas dari validasi masih terpenuhi.

Kata Kunci: *Turbin angin skala kecil, turbin sumbu horizontal, kecepatan angin rendah, simulasi CFD, SolidWorks, QBlade, Ansys CFX R2 2020, performa turbin angin, efisiensi energi terbarukan.*

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRACT

ZINSAISAL BAKRI. *Small Scale Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Performance Analysis Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Methods* (supervised by Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. and Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T. , M.T.)

The development of large -scale wind turbines has changed the renewable energy landscape, but the attention to small scale wind turbines remains relevant to increase energy efficiency. In areas with low wind speeds, small -scale wind turbines, especially horizontal axis turbines (HAWT), are priority to optimize the use of renewable resources. The purpose of this study was to evaluate the performance of small scale hawt wind turbines at varying wind speeds. Through quantitative and qualitative analysis, research aims to understand how wind turbines respond to changes in wind speed, especially at speeds of 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, and 6 m/s. Thus, this study aims to provide in -depth insight into the potential of renewable energy in areas with low wind speeds. The research method involved data collection of wind turbine specifications, modeling using Solidworks 2019, and CFD simulation with Ansys CFX R2 2020. The results of the validated simulation with a comparison between Ansys CFX R2 2020 and QBlade version 0.963.1. The analysis was carried out to determine the power of wind turbines at various wind speeds. The results showed that at a wind speed of 6 m/s, small scale hawt wind turbines reached the highest torque value of 0.76 N.m, and a maximum power of 27.52 watts. Thus, the wind speed of 6 m/s is identified as the optimal speed for the performance of the Hawt wind turbine. From the results of the simulation validation by comparing the Ansys simulation and the qblade simulation shows a small difference, in the ratio of Ansys and Qblade with the largest difference at 3 m/s speeds of 1.17% so that the limit of the validation is still met.

Keywords: Small-scale wind turbine, horizontal-axis wind turbine, low wind speed, CFD simulation, SolidWorks, QBlade, Ansys CFX R2 2020, wind turbine performance, renewable energy efficiency.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR ISI

SAMPUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... **ii**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **iii**
ABSTRAK ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xi**
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL ..... **xii**
KATA PENGATAR ..... **xiii**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Energi Angin 4
2.2 Karakteristik pada Turbin Angin 5
2.3 Konversi Energi 9
2.4 Pengukuran Kecepatan Angin untuk Turbin Angin 10
2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin 11
2.5.1 *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) 12
2.5.2 *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) 13
2.6 Elemen Pada Turbin Angin 14
2.6.1 Sudu Turbin (*Blade*) 15
2.6.2 Hub 16
2.6.3 Generator 17
2.6.4 Ekor 17
2.6.5 Menara 18
2.6.6 Mekanisme *Yawing* dan *Furling* 19
2.7 Computational Fluid Dynamics (CFD) 20
. Bilangan Reynold 21
: Proses *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 21
3 Validasi Hasil Simulasi 30
IETODE PENELITIAN **32**
si Penelitian 32

Optimized using
trial version
www.balesio.com

3.2 Benda Uji dan Perangkat Lunak 32
3.3 Data Kecepatan Angin 33
3.4 Data Kecepatan Putaran Daun Turbin Angin..... 35
3.5 Tahap Penelitian..... 37
3.6 Kerangka Penelitian 48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 49

4.1 Gambaran Umum Penelitian 49
4.2 Daya Maksimal Turbin Angin 49
4.3 Perhitungan Hasil Simulasi Ansys CFX 50
4.3.1 Perhitungan Torsi Turbin Angin..... 50
4.3.2 Daya Turbin Angin 51
4.4 Validasi Hasil Simulasi 52
4.4.1 Perbandingan dengan Software QBlade 52
4.4.2 Perbandingan Efisiensi Hasil 54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 58

5.1 Kesimpulan 58
5.2 Saran..... 58
DAFTAR PUSTAKA 60

LAMPIRAN..... 64

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kecepatan elemen lokal dan sudut aliran 8
Gambar 2 Kekuatan unsur lokal 8
Gambar 3 Alur sistem konversi energi angin dan grafik konversi energi 9
Gambar 4 Koefisien daya dan rasio kecepatan tip untuk berbagai konfigurasi turbin 11
Gambar 5 Jenis-Jenis Turbin Angin Vertikal 13
Gambar 6 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) 13
Gambar 7 Komponen-komponen turbin angin 14
Gambar 8 Ilustrasi penampakan aliran udara yang melalui suatu airfoil 16
Gambar 9 Generator 17
Gambar 10 Ekor Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) 18
Gambar 11 Jenis-jenis Menara 19
Gambar 12 Mekanisme *furling*: (a) pada kondisi angin dengan kecepatan normal; (b) pada kondisi angin dengan kecepatan sedang, dan (c) pada kondisi angin dengan kecepatan tinggi. 20
Gambar 13 Logo Ansys CFX 22
Gambar 14 *Preview* Ansys CFX 22
Gambar 15 Cara kerja Computational Fluid Dynamics (CFD) 23
Gambar 16 Tools Fluid Flow (CFX) Pada ANSYS WORKBENCH 26
Gambar 17 Sub-bagian Tools Fluid Flow (CFX) 27
Gambar 18 Bentuk khas sel grid 27
Gambar 19 tampilan Mesh pada Ansys CFX 28
Gambar 20 Tampilan Setup pada Ansys CFX 29
Gambar 21 Tampilan Result pada Ansys CFX 29
Gambar 22 Konvergensi normal 30
Gambar 23 Konvergensi dan proses literasi yang terlalu cepat 31
Gambar 24 Turbin angin horizontal 32
Gambar 25 Tampilan awal software ANSYS 2020 R2 33
Gambar 26 Lokasi untuk penentuan data kecepatan angin 34
Gambar 27 tachometer 36
Gambar 28 anemometer 36
Gambar 29 Kipas Angin 36
Gambar 30 Desain Turbin Angin Tipe Horizontal 38
Gambar 31 Desain Geometry Turbin Angin Tipe Horizontal 39
Gambar 32 Pembuatan Mesh 41
Gambar 33 Tampilan Ansys CFX Solver Turbin Angin 43
Gambar 34 Jenis *Airfoil* 44
Gambar 35 Grafik nilai Cl dan Cd 44
Gambar 36 Data ukuran *blade* dan Desain *Geometry Blade* 45
Gambar 37 Hasil simulasi pada kecepatan 6 m/s 45
Gambar 38 Hasil simulasi pada kecepatan 5 m/s 46
Gambar 39 Hasil simulasi pada kecepatan 4 m/s 46
Gambar 40 Hasil simulasi pada kecepatan 3 m/s 47
Gambar 41 Daya Maksimal Turbin Angin 50
Gambar 42 Grafik Hubungan Torsi Dengan Kecepatan Angin 51

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 43 Grafik Hubungan Daya yang Dihasilkan Turbin Angin dengan Kecepatan Angin pada Ansys CFX 52
Gambar 44 Grafik Hubungan Daya yang dihasilkan Turbin Angin dengan Kecepatan angin pada QBlade 53
Gambar 45 Perbandingan Daya yang dihasilkan Turbin Angin dengan Kecepatan angin pada Ansys dan QBlade 55
Gambar 46 Perbandingan Efisiensi Daya Pada Simulasi Ansys dan Simulasi QBlade 55

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai TSR terhadap jumlah sudu turbin 7
Tabel 2 Matrik konversi energi 10
Tabel 3 Spesifikasi turbin angin horizontal 32
Tabel 4 Data lokasi kecepatan angin rata-rata 34
Tabel 5 Data kecepatan angin rata-rata selama setahun..... 35
Tabel 6 Data Kecepatan Putaran Daun Turbin Hasil Pengujian 36
Tabel 7 Detail desain turbin angin tipe horizontal 38
Tabel 8 Pengaturan Domain Fluid udara 41
Tabel 9 Pengaturan domain solid turbin angin tipe horizontal 42
Tabel 10 Pengaturan *Solver Control* 42
Tabel 11 Daya maksimal Turbin Angin..... 50
Tabel 12 Nilai Torsi yang dihasilkan Turbin Angin Pada simulasi Ansys CFX .. 50
Tabel 13 Daya yang dihasilkan Turbin Angin Pada simulasi Ansys CFX 51
Tabel 14 Daya yang dihasilkan Turbin Angin Pada QBlade dan Ansys CFX..... 53
Tabel 15 Perbedaan daya yang dihasilkan pada Ansys CFX dan QBlade..... 54

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimensi Ukuran Turbin Angin Tipe Horizontal 65
Lampiran 2 Tahap *Geometry* Desain Turbin Angin Tipe Horizontal 66
Lampiran 3 Tahap *Mesh* Turbin Angin Tipe Horizontal 67
Lampiran 4 Tahap *Setup* Turbin Angin Tipe Horizontal 69
Lampiran 5 Tahap *Solution* Turbin Angin Tipe Horizontal..... 72
Lampiran 6 Tahap *Result* Turbin Angin Tipe Horizontal 76
Lampiran 7 Dokumentasi Hasil Eksperimen 80

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luasan area sapuan turbin angin (m^2)
ρ	Kerapatan Jenis (Kg/m^3)
ω	Kecepatan Putar Turbin Angin (Rad/s)
τ	Torsi Turbin Angin (N.m)
r	Jari-jari rotor turbin (m)
V	Kecepatan angin (m/s)
n	Kecepatan rotasi rotor (RPM)
P	Daya turbin angin (Watt)
D	Diameter turbin angin (m)
μ	Viskositas dinamis fluida ($N.s/m^3$)
φ	Sudut Kemiringan bilah (°)
c	Panjang Bilah (m)
Cl	Koefisien Angkat
Cd	Koefisien Hambat
N_{re}	Bilangan Reynold
η	Efisiensi Transmisi Aerodinamik
λ	*Tip Speed Ratio*
Cp	Koefisien Daya
GWp	*Global Warning Potential*
VAWT	*Vertical Axis Wind Turbine*
HAWT	*Horizontal Axis Wind Turbine*
NACA	*National Advisory Committee for Aeronautics*
NREL	*National Renewable Energy Laboratory*
RPM	Revolutions Per Minute
DC	Arus searah
AC	Arus bolak-balik
CAD	*Computer Aided Design*
FVM	*Finite Volume Method*

Optimized using
trial version
www.balesio.com

KATA PENGATAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh. Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puji hanya bagi-Nya yang telah memberikan karunia dan petunjuk-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, penutup para nabi dan rasul.

Pada momen bersejarah ini, dengan penuh rasa syukur dan hormat, penulis sampaikan karya ilmiah yang berjudul "*Analisa Performa Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Skala Kecil Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*". Sebuah perjalanan intelektual yang membawa penulis melintasi lautan ilmu pengetahuan, mencari jawaban dalam terpaan angin yang membawa makna dan tantangan.

Skripsi ini menjadi saksi bisu perjalanan penulis di Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dalam mengupas setiap lapisan misteri pada performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dengan skala yang mungkin dianggap kecil, namun memiliki dampak besar dalam eksplorasi energi terbarukan. Melibatkan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), penulis merangkai cerita algoritma dan dinamika fluida sebagai bagian dari kisah peradaban teknologi modern sehingga bisa menyelesaikan dan menempuh gelar Sarjana Teknik (S.T.).

Penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang tidak bisa penulis tuliskan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama proses penelitian ini. Terima kasih kepada bapak dan ibu tercinta, Bakri dan Musdiana yang dimana merupakan orang tua penulis yang senantiasa mendoakan, menasihati, dan memberikan segala bentuk kepercayaan serta menjadi figur orangtua terbaik bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan Pendidikan di Universitas Hasanuddin, Makassar. Lalu, Tidak lupa juga penulis mengucapkan terima kasih yang begitu tulus kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. selaku epala departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin dan ga pembimbing pertama yang senantiasa meluangkan waktunya untuk

Optimized using
trial version
www.balesio.com

membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik, dukungan maupun saran dalam penyusunan dan penulisan skripsi.

2. Bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua yang senantiasa meluangkan waktunya dan selalu sabar membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik maupun bantuan terkait pengerjaan *software* Ansys yang digunakan pada penelitian ini serta mendukung penulis dalam mengikuti berbagai kegiatan selama berkuliah.
3. Bapak Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D. dan Ibu Ir. Syerly Klara, MT. selaku dosen penguji yang memberikan masukan dan saran yang membangun saat seminar.
4. Bapak Surya Hariyanto, S.T., M.T. Selaku Dosen Penasehat Akademik yang selalu memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam menjalankan masa perkuliahan ini.
5. Bapak Andi Husni Sitepu, S.T., M.T. Selaku Dosen yang selalu memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam menjalankan masa perkuliahan ini.
6. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan ini.
7. Staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala administrasi penulis selama ini.
8. Kanda-kanda senior yang selalu memberikan arahan dan dedikasi kepada penulis.
9. Saudara-Saudari KORTNOZZLE 2019 yang telah membersamai penulis dalam setiap saat, baik dalam keadaan suka maupun duka selama masa perkuliahan.
10. Keluarga besar OKSP FT-UH yang telah menjadi rumah baru, memberikan ilmu pengetahuan serta pengalaman hidup yang bermanfaat selama berkuliah di langit merah hitam ini sesuai dengan lirik Mars OKSP FT-UH ang berbunyi "*Lewat himpunan… erat persaudaraan… demi sebuah arapan… tekat belajar… iklas bekerja… untuk terus berkarya…*" AYALAH SELALU HIMPUNANKU.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

11. Teman-teman KKN Tematik 109 Pengembangan Produk Lokal Desa Ara Bulukumba 2023, Posko Desa Ara yang telah memberikan suasana baru dan pengalaman menarik serta dukungan dalam setiap proses yang dilewati penulis.
12. Sobat-sobat Mentor Family FT-UH 2020 dan keluarga besar Mentor Family FT-UH yang telah memberikan rumah baru kepada penulis selama kuliah.
13. Rizky Khatami Rustam yang selalu memberikan *support* dan senantiasa membersamai dalam menempuh studi selama ini.
14. Sobat Andi Muhammad Usamah Dwi Putra yang selalu memberikan *support* dan senantiasa membersamai dalam beberapa momen langka selama ini.
15. Mulya Irawati, S.Pi. dan Annisa Saparuddin, S.T. yang selalu memberikan dukungan selama menjalani perkuliahan.
16. Dinda-dinda yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis selama kuliah.
17. Teman-teman di "*Teman Jalan Makassar*" yang senantiasa mengajak dan memberikan suasana baru penulis untuk mencari ketenangan diri saat jenuh mengerjakan skripsi.
18. Park Chaeyoung, Kim Jisoo, Kim Jennie, Lalisa Manoban selaku Crew BlackPink serta Crew Baby Monster yang selalu menjadi penyemangat dan penghibur dalam mengerjakan skripsi.

Akhir kata, penulis percaya bahwa setiap halaman ini memuat kehidupan nyata, keringat tinta yang mencorat-coretkan perjalanan sebuah skripsi. Semoga ini menjadi cerita inspiratif bagi semua yang mencari jalan di tengah kerumitan kehidupan.

Terima kasih atas perhatian dan doa restu. Semoga karya ini bisa bermanfaat untuk banyak pihak, Wa'alaikumusalam warahmatullahi wabarakatuh.

Gowa, 19 Juni 2024

Penulis

Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya taraf hidup masyarakat dan pertumbuhan ekonomi, permintaan energi meningkat yang antara lain meningkatkan konsumsi listrik nasional, sehingga tren konsumsinya mirip dengan tren konsumsi negara maju. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan garis pantai yang begitu panjang dimana pemanfaatan energi baru terbaruhkan sudah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional. Menurut Direktorat Jenderal Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) yang baru, total potensi energi angin Indonesia adalah 60,6 GWp yang tersebar di 34 provinsi. Hasil pengukuran dan analisis potensi angin di daerah dengan perspektif teknis dan ekonomi pada ketinggian 30 sampai 50 meter termasuk Sukabumi dengan kecepatan rata-rata 7 m/s, Bantaeng 4,66 m/s, Jayapura 3,05 m/s dan selanjutnya Pulau Sangihe 6,4 m/s (Kementerian ESDM, 2016).

Salah satu pemanfaatan energi angin adalah penggunaan turbin angin yang banyak digunakan untuk kebutuhan pertanian, seperti untuk menggerakkan pompa untuk keperluan irigasi, serta kebutuhan akan energi yaitu sebagai pembangkit listrik energi angin. Berbagai macam penemuan turbin angin sebagai pembangkit energi alternatif sudah ditemukan sejak lama dengan berbagai macam bentuk desain (Saputra, 2016). Namun, pembangunan pembangkit listrik energi angin skala besar membutuhkan biaya investasi yang tinggi. Selain itu, diperlukan juga lokasi dengan intensitas angin yang baik. Dalam skala kecil, teknologi turbin angin skala kecil dapat digunakan untuk menghasilkan listrik untuk melayani daerah terpencil yang sama sekali tidak memiliki listrik. Daerah seperti ini banyak dijumpai di daerah pesisir dan di pulau-pulau kecil di seluruh Indonesia (Hernowo, 2020).

Turbin angin adalah alat yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan energi listrik. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) adalah ... jenis turbin angin yang paling umum digunakan karena efisiensinya yang ... aim, Fadillah and Fadila, 2018). Beberapa penelitian telah fokus pada ... erforma baling-baling dengan menggunakan teori elemen momentum, ... emungkinkan pemodelan distribusi tekanan dan gaya aerodinamis.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Sementara itu, penelitian lainnya telah memperhatikan variasi profil airfoil pada baling-baling untuk meningkatkan efisiensi konversi energi angin menjadi energi listrik. Selain itu, penelitian juga telah mengevaluasi dampak dari kondisi turbulensi angin terhadap kinerja turbin, dengan tujuan mengidentifikasi strategi untuk meningkatkan efisiensi energi dalam berbagai kondisi lingkungan. Secara keseluruhan, analisis performa turbin angin horizontal menjadi kunci dalam pengembangan dan pengoptimalan teknologi energi terbarukan ini. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang memengaruhi kinerja turbin, dapat dilakukan inovasi yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi angin secara keseluruhan.

Jadi pada penelitian ini, akan menggunakan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) sebagai objek penelitian. Di daerah dengan potensi energi angin rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 7 m/s, jenis turbin yang cocok untuk dikembangkan adalah turbin angin *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) (Ihwan A, Sota, 2010). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan *software* yang berfungsi menganalisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait serta mampu membantu dalam menganalisa performa dari turbin angin (Al-Shemmeri, 2012). Maka dari itu, penelitian ini akan berfokus pada Analisa Performa Tubin Angin Skala Kecil Menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memahami lebih baik terkait *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) yang akan diteliti dalam peningkatan efisiensi dan keandalan sistem turbin angin secara keseluruhan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka muncul rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) skala kecil pada kecepatan angin berbeda?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan angin terhadap karakteristik *rizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)?

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ıan Penelitian

alam penelitian yang diusulkan memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) skala kecil pada kecepatan angin berbeda.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan angin terhadap karakteristik *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Dapat memperoleh informasi mengenai performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) skala kecil pada kecepatan angin optimal yang dapat dioperasikan.
2. Dapat menghasilkan informasi yang berguna dalam pengembangan dan penerapan teknologi turbin angin skala kecil yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk menunjang percepatan pemanfaatan Energi Baru Terbaruhkan.
3. Dapat menjadi literatur bagi penelitian lain yang akan memilih topik dengan sudut pandang yang berbeda.

1.5 Ruang Lingkup

Dalam pengerjaan penelitian ini perlu diadakan pembatasan-pembatasan pada ruang lingkup sebagai berikut.

1. Jenis turbin yang digunakan yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) tiga daun yang berfokus untuk menghasilkan daya listrik dari energi angin.
2. Data kecepatan angin yang digunakan yaitu kecepatan angin rata-rata setiap bulan dengan jumlah sampel data kecepatan angin selama setahun pada tahun 2023 di daerah jeneponto, sulawesi selatan.
3. Analisa hanya memperhitungkan performa *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dengan tiga daun pada kecepatan angin berbeda, tanpa memperhitungkan faktor lain yang dapat mempengaruhi performa turbin angin, seperti pemilihan bahan baling-baling.

tware ANSYS, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan sebagai angkat lunak untuk memodelkan dan mensimulasikan turbin angin, namun ık mempertimbangkan perbedaan karakteristik simulasi dengan pengujian k turbin angin.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Perbedaan tekanan atmosfer disebabkan oleh perbedaan suhu di udara akibat pemanasan sinar matahari yang tidak merata sehingga menghasilkan energi kinetik pada angin. Energi angin dapat diubah atau dipindahkan menjadi energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Oleh karena itu turbin atau turbin angin sering disebut dengan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) (Ihwan, Sota, 2010).

Energi angin digunakan untuk mengendalikan turbin angin yang kemudian diubah menjadi energi lainnya, informasi kecepatan dan arah angin diperlukan dalam waktu yang cukup lama. Energi angin adalah energi kinetik atau energi yang dihasilkan dari kecepatan angin dan selanjutnya energi kinetik inilah yang dapat digunakan berbalik. bilah turbin angin. Energi tersebut dapat dihitung dengan formula sebagai berikut (Ismail & Rahman, 2020).

$$E = \frac{1}{2} . m . V^2 \qquad (1)$$

Dimana:

E : energi kinetis (*joule*)

m : massa udara (kg)

V : kecepatan angin (m/s)

Jika suatu blok udara yang mempunyai penampang A (m^2) dan bergerak dengan kecepatan V (m/s), maka jumlah massa udara yang mengalir tiap detik adalah sebagai berikut (Ismail & Rahman, 2020).

$$m = A . V . \rho \qquad (2)$$

Dimana:

m : Kecepatan massa udara (kg/s)

‹erapatan udara (kg/m^3)

›enampang udara (m^2)

‹ecepatan angin (m/s)

elanjutnya didapatkan daya yang dihasilkan sebagai berikut.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

$$\rho = \frac{P}{t}$$

$$P = \frac{1}{2}.\ A\ .V^3.\rho \qquad (3)$$

Sumber: Muhaimul et al., (2022)

Namun demikian tidak semua daya angin tersebut dapat dimanfaatkan oleh kincir karena pada kenyataannya ada kerugian gesekan pada sudu-sudu turbin yang disebut efisiensi atau koefisien daya *rotor* (Cp). Sehingga daya yang diekstraksi oleh kincir adalah sebagai berikut.

$$P = Cp.\frac{1}{2}A\ .V^3.\rho \qquad (4)$$

Dimana:

P : Daya efektif yang dihasilkan turbin angin (Watt)

cp : Koefisien daya

V : Kecepatan angin (m/s)

ρ : Kerapatan udara (kg/m^3)

Nilai Koefisien daya *rotor* pada prakteknya yang paling ideal adalah Cp = 0,59 nilai ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum dan paling ideal yang dapat dicapai oleh *rotor* turbin angin tipe sumbu horisontal. Sedangkan efisiensi transmisi aerodinamik berkisar pada harga maksimum yang ideal Cp = 0,59 untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik pada turbin dan nilai massa jenis udara ρ = 1.204 Kg/m^2.

Lalu, untuk nilai Daya mekanik turbin angin juga dapat diperoleh berdasarkan persamaan berikut ini.

$$P = T.\omega \qquad (5)$$

Dimana:

P : Daya mekanik turbin (W)

T : Torsi turbin angin (N.m)

ω : Kecepatan putar turbin (rad/s)

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ıkteristik pada Turbin Angin

ip speed ratio yaitu rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan udara. Rasio ı ini merupakan parameter untuk analisa pada turbin angin, Tip speed ratio etahui dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\lambda = \frac{\omega.R}{V} \quad (6)$$

Dimana:

λ : Tip Speed Ratio

ω : Kecepatan sudut rotor turbin (rad/s)

R : jari-jari rotor (m)

V : Kecepatan awal angin (m/s)

Sumber: Manwell et al., (2009)

Pada umumnya, untuk turbin angin dengan kecepatan putar yang rendah memiliki nilai tip speed ratio yang berkisar sekitar 1 sampai 4, dan untuk turbin angin dengan kecepatan yang tinggi memiliki nilai tip speed ratio yang berkisar sekitar 5 sampai 9.

Pada pertimbangan perencanaan desain awal turbin angin, nilai tip speed ratio yang baik untuk turbin angin dengan jumlah sudu turbin 1 sampai 3 adalah sekitar 3-4 dengan mempertimbangkan grafik dari airfoil yang dipilih (Ingram, 2011). Sebelum menentukan nilai dari kecepatan sudut dari rotor (rpm), dihitung terlebih dahulu nilai Kecepatan sudut rotor turbin yang dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$\omega = 2.\pi.\frac{n}{60} \quad (7)$$

Dimana:

ω : Kecepatan sudut rotor turbin (rad/s)

n : Kecepatan sudut rotor turbin (rpm)

Sumber: Manwell et al., (2009)

Lalu, untuk n adalah kecepatan sudut dari rotor (rpm) yang di gunakan pada input set up; *ω* adalah Kecepatan sudut dari rotor (rad/s); 60s merupakan nilai angka dalam 1 menit; dan π adalah phi yang memiliki nilai 3,14. Sehingga rumus dari n dapat dihitung pada persamaan berikut ini.

$$n = \frac{\omega.60.\lambda.V}{2.\pi.R} \quad (8)$$

Dimana:

Tip Speed Ratio

Kecepatan sudut rotor turbin (rpm)

ari-jari rotor (m)

Kecepatan awal udara (m/s)

Kecepatan sudut rotor turbin (rad/s)

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Berdasarkan persamaan tersebut juga dapat dijelaskan bahwa terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara kecepatan putar rotor dengan jarak sudu. Pada nilai tip speed ratio yang sama, sudu dengan jarak yang besar memiliki kecepatan putar yang rendah seperti tabel 1 berikut ini.

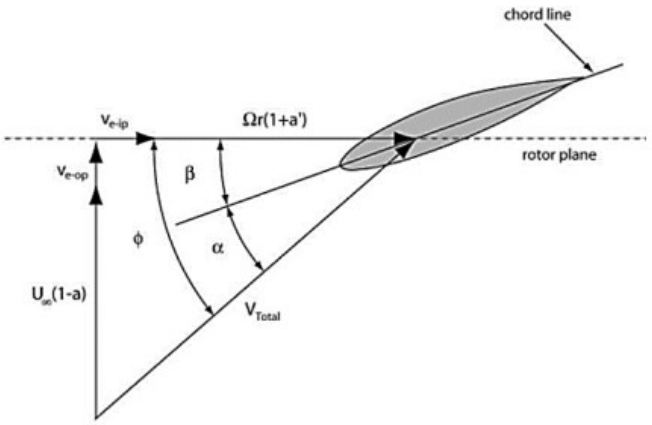
Tabel 1 Nilai TSR terhadap jumlah sudu turbin

Tip speed ratio	Jumlah sudu
1	8-24
2	6-12
3	3-6
4	3-4
>4	1-3

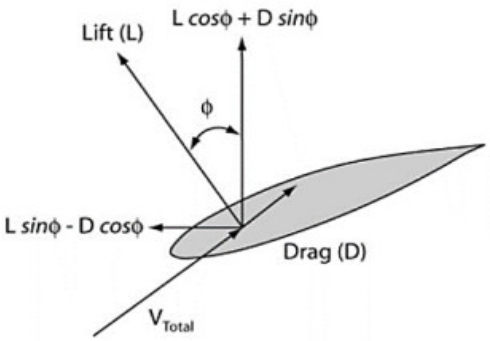
Sumber: Manwell et al., (2009)

Teori momen elemen sudu (BEM) adalah salah satu metode tertua dan paling umum digunakan untuk menghitung kecepatan induksi pada bilah turbin angin. Teori ini merupakan perpanjangan dari teori cakram aktuator, yang pertama kali diajukan oleh karya rintisan Rankine dan Froude tentang baling-baling pada akhir abad ke-19. Teori BEM, sering dikaitkan dengan Betz dan Glauert (1935), yang sebenarnya berasal dari dua teori yang berbeda. teori: teori elemen bilah dan teori momentum (Leishman 2000). Teori elemen bilah mengasumsikan bahwa bilah dapat dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang beroperasi secara independen dari elemen-elemen di sekitarnya dan berperilaku aerodinamis seperti airfoil dua dimensi yang gaya aerodinamisnya dapat dihitung berdasarkan kondisi aliran lokal. Gaya-gaya dasar ini ditambahkan pada rentang sudu untuk menghitung gaya dan momen total yang bekerja pada turbin. Separuh BEM lainnya yaitu teori momen mengasumsikan bahwa hilangnya tekanan atau momen pada bidang rotor disebabkan oleh usaha yang dilakukan oleh aliran udara yang melewati bidang rotor pada elemen sudu rotor. Dengan menggunakan teori momentum, seseorang dapat menghitung kecepatan induksi dari momentum yang hilang pada aliran baik dalam [illegible]al maupun tangensial. Kecepatan induksi ini mempengaruhi aliran ke [illegible]otor dan dengan demikian juga mempengaruhi gaya yang dihitung [illegible]an teori elemen sudu (Moriarty & Hansen, 2005).

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 1 Kecepatan elemen lokal dan sudut aliran



Gambar 2 Kekuatan unsur lokal

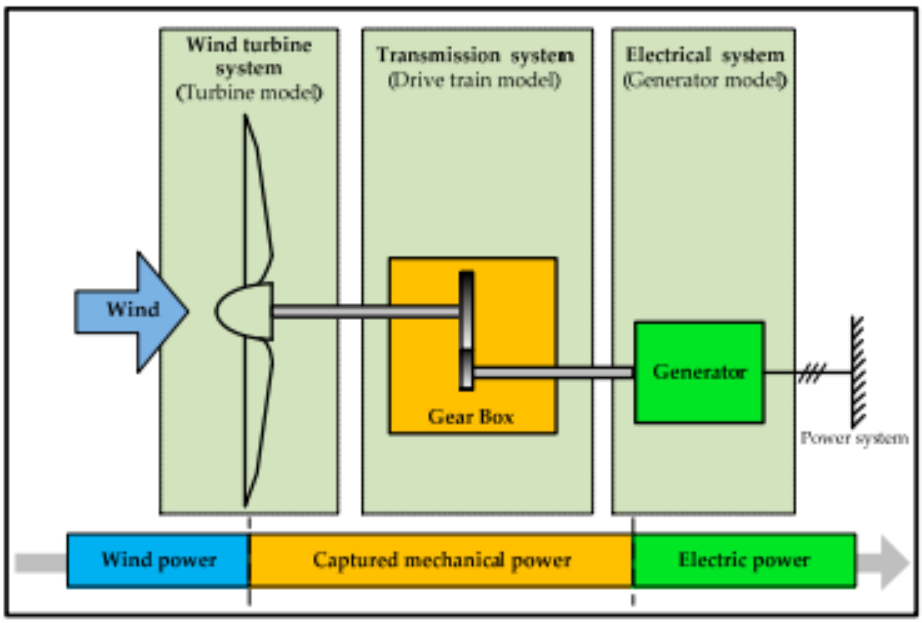
Keuntungan teori BEM adalah setiap elemen sudu dimodelkan sebagai *airfoil* dua dimensi. Gambar 1 adalah contoh airfoil dengan kecepatan dan sudut yang menentukan gaya-gaya pada elemen dan juga kecepatan induksi dari pengaruh bangun. Gambar 2 menunjukkan resultan gaya aerodinamis pada elemen dan komponennya yang tegak lurus dan sejajar dengan bidang rotor. Ini adalah gaya yang menentukan gaya dorong (tegak lurus) dan torsi (paralel) rotor, yang merupakan gaya dominan dalam desain turbin. Pada Gambar 2, sudut yang menghubungkan gaya angkat dan tarik elemen airfoil dengan gaya dorong dan torsi adalah sudut aliran masuk lokal, φ (atau Φ pada gambar). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, sudut aliran masuk ini adalah jumlah dari sudut pitch local sudu, β, dan sudut serang, α. Sudut pitch lokal bergantung pada geometri blade statis, elastis, dan sistem kontrol pitch blade aktif atau pasif. Sudut serang ın fungsi dari vektor kecepatan lokal, yang pada gilirannya dibatasi oleh ı angin lokal yang masuk, kecepatan rotor, kecepatan elemen sudu, dan ı induksi. Perhatikan pada Gambar 1 bahwa kecepatan elemen akibat sudu (Ve-op dan Ve-ip) mempengaruhi sudut aliran masuk dan sudut

Optimized using
trial version
www.balesio.com

serang, namun tidak secara langsung dipengaruhi oleh kecepatan induksi dari bangun. Asumsi ini konsisten dengan teori momentum, namun mungkin bukan model fisik yang sesuai untuk kopling elemen-bangun. Penggabungan kedua teori ini menyatukan teori momen elemen sudu dan menetapkan prosedur berulang untuk menentukan gaya aerodinamis serta kecepatan induksi di dekat rotor (Moriarty & Hansen, 2005).

2.3 Konversi Energi

Konversi energi adalah perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Karena faktor lingkungan dan sifat energi yang cenderung menyebar, pasti ada kerugian dalam konversi energi, sehingga hal ini harus dipahami dengan baik. Misalnya, lampu mengubah energi listrik menjadi cahaya dan panas. Panas yang ada adalah panas yang hilang. Jadi jika energi listrik yang masuk ke dalam lampu adalah 100, maka energi cahaya yang dihasilkan pasti kurang dari 100 karena adanya *heat loss*. Pada sistem turbin angin, proses konversi ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut (Meng et.al., 2017).



Gambar 3 Alur sistem konversi energi angin dan grafik konversi energi

Sumber: Meng et.al., (2017)

nergi yang dihantarkan adalah energi kinetik angin, yang diubah menjadi baling-baling dan poros turbin. Turbin tidak dapat menyerap semua energi ngin yang tersedia (kerugian konstruksi). Semakin rendah kerugian desain, banyak energi input yang dapat diserap turbin. Energi kinetik turbin

Optimized using trial version www.balesio.com

ditransfer ke gearbox dan kemudian ke generator untuk menghasilkan listrik. Kerugian harus terjadi dalam proses transfer energi. Semakin kecil kerugian di setiap bagian, semakin banyak daya listrik yang dapat diekstraksi dari daya input turbin. Konversi energi membutuhkan konverter energi atau proses tertentu dan memiliki perubahan batas, Tabel 2 menunjukkan matriks konversi energi umum dan perangkat atau proses yang diperlukan. Berikut tabel 2 sebagai berikut (Al-Shemmeri, 2012).

Tabel 2 Matrik konversi energi

dari \ ke	mekanik	elektrik	panas	kimia	nuklir
mekanik	Gear nutcracker push mower	Generator listrik	gesekan	X	X
Elektrik	Motor listrik	*Transformer* (trafo)	Api listrik	*Elektrolisis*	Ekselerator partikel
Panas	Turbin uap	*Thermo-couple*	Alat penukar kalor	*Endotermik/ eksotermik*	Reactor fusi
Kimia	Mesin jet roket	Batterai *fuel cell*	Mesin mobil boiler	*Intermediate reaction*	X
nuklir	X	X	Reactor nuklir	X	X

Sumber: Al-Shemmeri, (2012)

2.4 Pengukuran Kecepatan Angin untuk Turbin Angin

Menurut (Ismail & Rahman, 2020) kecepatan adalah parameter terpenting saat mengevaluasi kinerja turbin. Hal ini sering diremehkan oleh produsen atau disalahpahami oleh pembeli bahwa peringkat daya turbin angin benar hanya pada kecepatan tertentu, yaitu dikenal sebagai kecepatan rata-rata yang tidak terlalu kecil atau terlalu besar tinggi, tetapi di suatu tempat orang percaya bahwa turbin angin dapat melakukan itu dalam mempertahankan rotasi. Kecepatan dibagi menjadi

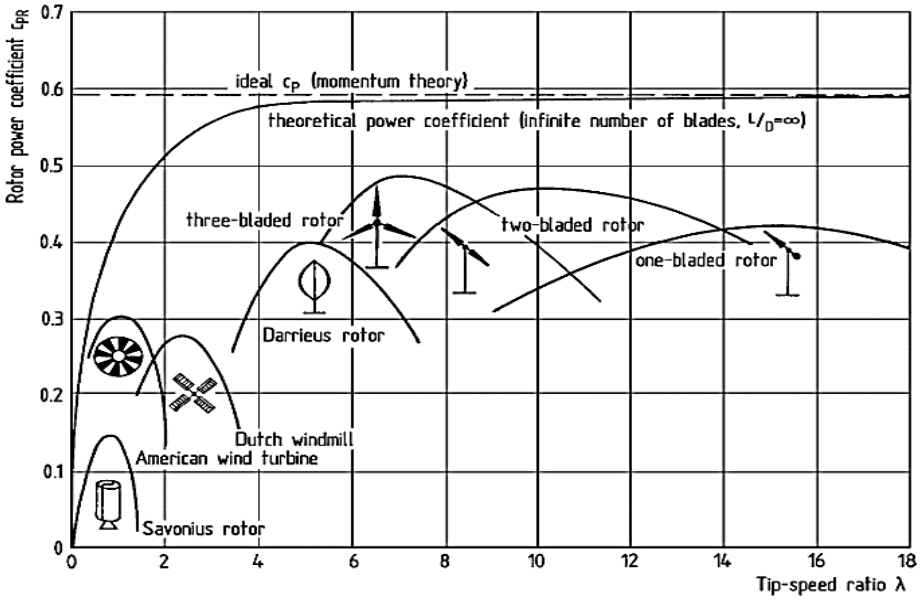
ıtang yang berbeda, yaitu sebagai berikut.

rt-up Speed merupakan kecepatan *rotor* mulai berputar.

:-in Speed adalah kecepatan angin minimum di mana turbin angin akan nghasilkan daya yang dapat digunakan. Kecepatan angin ini umumnya ara 3 dan 4,5 m/s untuk sebagian besar turbin.

Optimized using trial version www.balesio.com

3. Rated Speed adalah kecepatan angin minimum di mana turbin angin akan menghasilkan daya yang dirata-rata yang ditentukan.
4. Cut-out Speed merupakan batas maksimum kecepatan angin pada turbin di mana terjadi shut down, kadang-kadang disebut juga kecepatan furling. Cut-out speed merupakan fitur keselamatan yang melindungi turbin angin dari kerusakan.



Gambar 4 Koefisien daya dan rasio kecepatan tip untuk berbagai konfigurasi turbin

Sumber: Hau & Von Renouard, (2006)

2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin

Turbin angin merupakan sebuah instalasi yang dapat membangkitkan energi listrik dengan angin sebagai sumber penggeraknya. Energi kinetik yang berasal dari angin akan dikonversi ke dalam bentuk energi listrik dengan melalui dua tahap, yaitu sebagai berikut.

1. Energi kinetik dari tiupan angin akan menggerakkan *rotor* turbin angin sehingga *rotor* berputar.
2. Energi mekanik dari putaran *rotor* akan menggerakkan *rotor* pada generator yang berada di belakangnya sehingga energi mekanik tersebut akan onversikan menjadi energi listrik yang akan ditransmisikan pada jaringan rik terdekat ataupun disimpan di dalam baterai.

erdasarkan arah sumbu putarnya, turbin angin dibedakan menjadi dua u *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* . *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) memiliki sumbu putar yang tegak

Optimized using trial version www.balesio.com

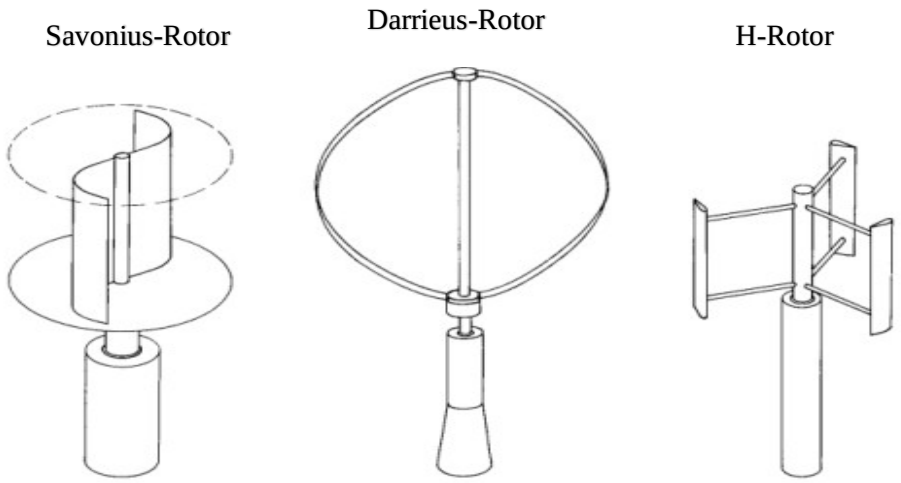
lurus dengan arah angin. Sedangkan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT), di sisi lain, memiliki sumbu berputar yang mengarah ke arah yang sama dengan angin. Kedua jenis turbin tersebut memiliki karakteristik yang berbeda (Saputra, 2016).

Orientasi sumbu *rotor* ke tanah biasanya secara *horizontal* atau vertikal. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) adalah desain yang paling umum dengan dua atau tiga bilah, di mana struktur melawan angin paling menonjol. Model Savonius dan Darrieus mendominasi produk yang tersedia untuk *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Berbagai model HAWT dan VAWT menggunakan prinsip drag and lift *aerodinamis*. Gaya tarik dan gaya apung pada benda yang terbenam dalam aliran fluida yang datang adalah gaya yang bekerja pada benda dalam arah sejajar dan tegak lurus aliran. *Rotor* yang menggunakan *lift aerodinamis* mencapai faktor daya yang lebih tinggi daripada perangkat drag. Faktor daya adalah perbandingan daya mekanis yang ditarik dengan daya yang terkandung dalam aliran udara (Hau & von Renouard, 2006)

2.5.1 *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) adalah tipe pertama dari turbin angin buatan. Jenis turbin ini memiliki keunggulan yang dimana tidak terpengaruh oleh arah angin karena sumbunya tegak lurus terhadap arah angin sehingga tidak memerlukan mekanisme penyelarasan seperti ekor turbin pada angin sumbu *horizontal*. turbin Ini membuatnya cocok untuk digunakan di daerah dengan angin dari segala arah (Saputra, 2016). Selain itu, dengan turbin angin sumbu vertikal, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga memudahkan servis dan perawatan. Keunggulan lain dari kincir angin sumbu vertikal adalah tingkat kebisingan yang lebih rendah dibandingkan dengan kincir angin sumbu *horizontal*. Namun, efisiensi kincir angin sumbu vertikal lebih rendah daripada kincir angin sumbu *horizontal*, sehingga turbin angin sumbu vertikal umumnya digunakan untuk konversi daya skala kecil (Adlie et.al., 2015; Strong, 2008). Saat ini, terdapat tiga jenis turbin angin sumbu vertikal yang sering digunakan yaitu turbin angin Savonius, Darrieus, dan H *rotor* seperti gambar 5 berikut ini.

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 5 Jenis-Jenis Turbin Angin Vertikal

Sumber: Hau & Von Renouard, (2006)

2.5.2 *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) adalah turbin angin yang dimana sumbunya sejajar dengan arah angin. Turbin *horizontal* memiliki bilah berbentuk sayap yang seperti sayap pesawat terbang. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) memiliki efisiensi tertinggi dari semua jenis turbin yang dikembangkan saat ini dan dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang relatif lebih besar daripada turbin angin sumbu vertikal. Namun, karena *rotor* turbin hanya dapat menerima angin dari satu arah, diperlukan mekanisme penunjuk berupa ekor turbin agar turbin dapat diarahkan ke arah angin. Selain itu, *rotor* dan generator terletak di bagian atas menara, membuat perawatan dan servis menjadi sulit. Bentuk turbin angin *horizontal* dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.

Gambar 6 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

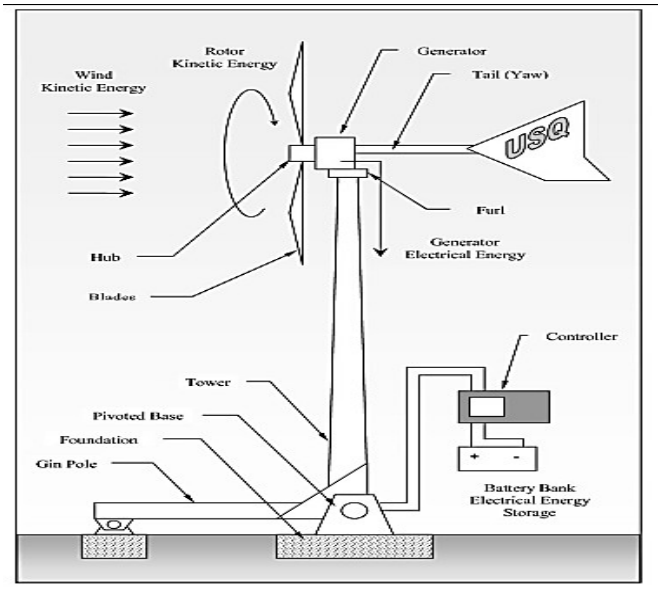
Sumber:Ueda, Itaka, & Inoue, (2003)

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Turbin angin sumbu *horizontal* dibagi menjadi dua jenis berdasarkan posisi *rotor* dalam kaitannya dengan arah angin, yaitu *upwind* dan *downwind*. Turbin *upwind* memiliki *rotor* yang mengarahkan langsung ke angin. Sebaliknya, dalam turbin angin *downwind*, *rotor* turbin berputar dengan membelakangi arah angin. Menara di dalam turbin mengalami turbulensi di bagian belakang, sehingga turbin angin biasanya berorientasi melawan arah angin. Bilah *rotor* turbin menjadi kaku sehingga tidak mendorong ke arah menara saat angin kencang. Selain itu, bilah turbin ditempatkan pada jarak tertentu dan agak miring di depan menara. Karena turbulensi merusak struktur menara, sebagian besar turbin angin sumbu *horizontal* dibangun dalam kondisi melawan angin. Namun, meskipun ada masalah turbulensi, turbin angin dapat digunakan karena tidak memerlukan mekanisme tambahan untuk menjaganya agar tetap sejalan dengan arah angin, dan ketika angin sangat kencang, bilah *rotor* dapat ditekuk sehingga mengurangi luas permukaan angin. Akibatnya, hambatan angin pada baling-baling dapat dikurangi (Adlie et.al., 2015; Saputra, 2016).

2.6 Elemen Pada Turbin Angin

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, selanjutnya putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Elemen-elemen turbin angin sumbu *horizontal* secara umum terdiri dari sudu-sudu (blade), hub, generator, ekor, mekanisme yaw, menara (tower) seperti gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Komponen-komponen turbin angin

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.6.1 Sudu Turbin (*Blade*)

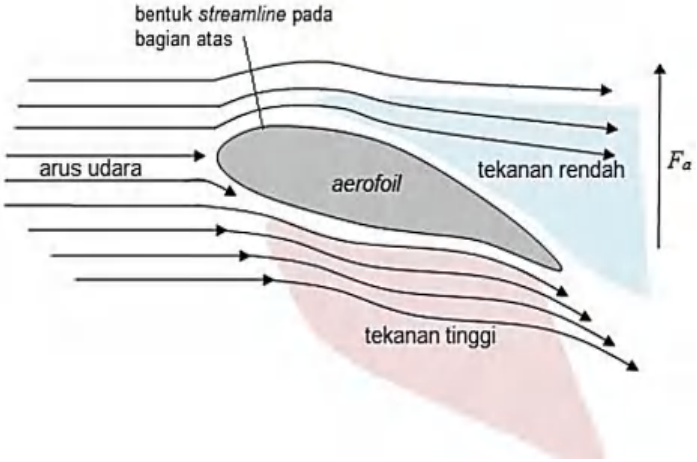
Sudu turbin atau *Blade* adalah salah satu elemen utama turbin. Bilah *rotor* memainkan peran penting dalam mengubah energi yang dibawa angin menjadi torsi, yang kemudian diteruskan ke generator. Aspek terpenting dari konstruksi sudu adalah bentuk airfoil. Beberapa sayap saat ini disetujui oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) atau pun *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). Otoritas Laboratorium Nasional NREL telah melakukan penelitian dan menerbitkan beberapa airfoil yang cocok untuk digunakan pada turbin angin sumbu *horizontal* kecil dan besar. Diperkirakan *airfoil* memiliki kemampuan untuk meningkatkan penyerapan energi angin sebesar 23 hingga 33%. Turbin angin dengan variasi sudut *pitch* dapat meningkatkan penangkapan energi sebesar 8% - 20% dan turbin angin variasi jumlah RPM dapat meningkatkan penangkapan energi sebesar 8% - 10% (Musyafa', 2012).

Rotor turbin angin digerakkan oleh dua jenis gaya, yaitu gaya *drag* dan gaya *lift*. *Lift* adalah gaya tegak lurus terhadap arah aliran yang terjadi ketika aliran bergerak melalui suatu benda dengan penampang *airfoil*. Ketika penampang *airfoil* menyapu udara dengan kecepatan tertentu, tekanan udara di bagian atas *airfoil* lebih kecil daripada di bagian bawah. Ini menciptakan gaya *drag* pada *airfoil*, yang disebut sebagai gaya *drag*. Sedangkan gaya hambat adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda (Ismail & Arrahman, 2017).

Airfoil merupakan elemen penting dalam konversi energi angin. Kemajuan teknologi telah memungkinkan perancang untuk membuat bilah dengan berbagai bentuk, termasuk bahan, ukuran, jenis, dan jumlah bilah. Turbin angin sumbu *horizontal* memiliki persyaratan penting yang memerlukan perhatian khusus pada radius sudu, jumlah sudu, panjang chord, jenis sudu dan material sudu. Saat angin bertiup melewati sudu, sudu menciptakan daya angkat (L) dan mendorong atau menarik (D). Perubahan daya angkat dan daya dorong dipengaruhi oleh geometri bilah, kecepatan, dan arah angin relatif terhadap daya dorong utama bilah. Perubahan gaya ini juga mengubah nilai torsi dan kecepatan sudut. Bentuk nis sudu dipengaruhi oleh perubahan sudut efektif α (sudut efek). n sudut serang mempengaruhi kecepatan sudut turbin angin. Hal ini ık pada tingkat produksi energi angin yang diserap oleh anjungan. Jumlah ukuran *rotor* turbin angin berdampak besar pada kemampuan turbin untuk ap energi angin yang mengalir melalui sudu. Semakin besar diameter *rotor*

Optimized using
trial version
www.balesio.com

turbin angin maka semakin besar luas area yang disapu oleh sudu *rotor*, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar (Musyafa', 2012). Gaya *aerodinamis* yang dialami *airfoil* ketika dilalui aliran udara ditunjukkan pada gambar 8 berikut ini.



Gambar 8 Ilustrasi penampakan aliran udara yang melalui suatu airfoil

Sumber: Gusmeri dkk, (2019)

2.6.2 Hub

Hub adalah bagian dari *rotor* yang menghubungkan sudu-sudu turbin dengan poros utama. Hub membentuk titik pemasangan untuk rakitan sudu turbin, yang memungkinkan pembentukan *rotor*. Hub dipasang ke poros generator sehingga putaran bilah turbin ditransmisikan ke generator. Hub dibangun sederhana dan murah. Material yang digunakan untuk memproduksi hub harus cukup kuat untuk menahan tegangan yang dihadapi selama proses pengoperasian turbin, yaitu berupa gaya inersia yang ditimbulkan oleh sudu-sudu turbin pada saat *rotor* berputar. Baja dan aluminium telah lama dikenal sebagai bahan untuk pusat produksi karena kemampuan mesin, kekuatan, dan ketersediaannya. Kepadatan baja yang lebih tinggi daripada aluminium membuat baja lebih kuat dari aluminium, tetapi menggunakan baja sebagai bahan konstruksi hub meningkatkan massa turbin.

Dimensi hub dirancang secara tepat untuk memastikan kecocokan yang baik dengan poros generator dan bilah *rotor*. Jarak radius lubang bilah *rotor* harus tepat enjaga keseimbangan dinamis *rotor*. Jika *rotor* tidak seimbang, terjadi dik yang membebani hub dan poros generator. Oleh karena itu, seluruh s. hub dan *blade*, harus seimbang secara dinamis sebelum pemasangan. odifikasi yang perlu dilakukan pada hub untuk memastikan keseimbangan lapat dilakukan sebelum pemasangan (Gusmeri dkk., 2019).

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.6.3 Generator

Generator adalah elemen dasar dari setiap turbin angin. gerakan berputar Arus yang dihasilkan oleh *rotor* diubah menjadi listrik di dalam generator. Generator adalah istilah umum untuk mesin yang dapat mengubah dayanya dari mekanis hingga elektrik, meskipun banyak yang datang dalam berbagai gaya berbeda Generator dapat dikelompokkan berdasarkan jenis aliran dan medan listrik tercipta. Berdasarkan listrik yang dihasilkan, generator bisa dipisahkan menjadi generator dinamo listrik dengan daya keluaran DC (arus searah) dan generator dengan output arus AC (arus bolak-balik). Sedangkan menurut medannya, generator dapat dibedakan menjadi generator magnet permanen (permanent magnet generator), generator penguat terpisah (*separately excited generator*), generator penguat sendiri (*self-excited generator*), generator sinkron, dan generator induksi (Strong, 2008). Berikut contoh dari generator pada gambar 9 dibawah ini.

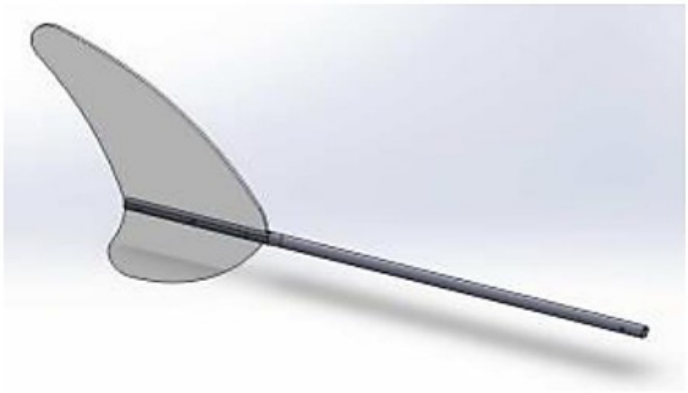
Gambar 9 Generator

Sumber: Bachtiar, (2018)

2.6.4 Ekor

Bachtiar A., (2018) menyatakan bahwa Ekor adalah komponen dari turbin angin sumbu horizontal. Ekor Selalu menjauh dari arah angin yang ada, Ekor di belakang kincir angin terletak di atas bagian *rotor* Bagian depan kincir angin selalu ap angin. Contoh Bentuk bagian belakang kincir angin dapat dilihat pada 0 berikut ini.

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 10 Ekor Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Sumber: Bachtiar, (2018)

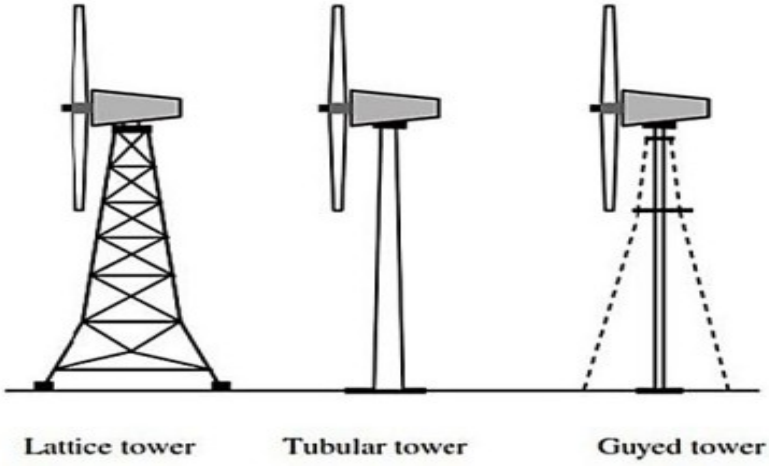
Saat ini dipastikan dengan keseimbangan kekuatan angin di buritan, Jika arah angin berubah, turbin secara otomatis dan segera mengoreksi arah tergantung arah angin. Oleh karena itu penyediaan untuk bantalan yaw diperlukan dalam desain badan turbin. Selain itu, satu set *slip ring* Ini diperlukan untuk mencegah kabel listrik generator berputar Sebagian di Menara untuk mendapatkan efek bilah ekor terbaik. Untuk mendapatkan fungsi daun ekor yang optimum, maka luas areanya perlu dihitung. Luas area daun ekor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_{daun\ ekor} = 0{,}04\ x\ A_{sapuan\ sudu\ turbin} \qquad (9)$$

2.6.5 Menara

Menara adalah item pendukung yang fungsi utamanya adalah untuk mendukung rotor, hub dan semua komponen di atas turbin angin. Menara ini terbuat dari material yang sangat kuat untuk menahan tekanan gravitasi turbin angin dan kekuatan angin, serta membantu turbin angin mempertahankan getaran, terutama pada cuaca buruk yang dimana kecepatan dan arah angin tidak stabil. Bahan yang digunakan untuk membangun menara adalah pipa baja, beton, rangka besi, atau plastik bertulang *fiberglass* (GRP). Menara yang digunakan dapat berupa tipe latis (*lattice*), pipa (*tubular*), atau tipe *guyed tower*, yaitu menara yang dilengkapi dengan tali pancang. Bentuk dari ketiga tipe tower tersebut dapat dilihat pada 1 berikut .

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 11 Jenis-jenis Menara

Sumber: Arif Adlie dkk, (2015)

Menara diperlukan untuk menaikkan *rotor* ke ketinggian maksimum kecepatan angin yang tersedia dan meminimalkan turbulensi. Semakin tinggi energi angin yang dihasilkan oleh turbin di menara semakin besar. Namun, Meningkatkan ketinggian menara secara langsung meningkatkan total biaya semua kecuali biaya pengiriman dan pemasangan. Selain itu, akan ada beberapa mempersulit pemeliharaan turbin angin. Untuk turbin angin horizontal, Ketinggian menara kira-kira dua sampai tiga kali panjang bilah rotor (bilah turbin). Menyeimbangkan biaya bahan menara terhadap konsumsi komponen yang aktif lainnya yang lebih bagus dan tentunya cukup mahal (Gusmeri dkk., 2019).

2.6.6 Mekanisme *Yawing* dan *Furling*

Perputaran badan turbin sepanjang arah angin tidak demikian dapat terjadi bila tidak ada mekanisme *yaw*. Turbin angin harus Bebas bergerak pada berputar (*yawing*) untuk memastikan arah *rotor* selalu benar menghadap arah angin. Karena angin adalah sumber energi yang konstan, Osilasi adalah proses yang berosilasi dalam intensitas dan arah diperlukan untuk memulihkan energi angin yang tersedia. Mekanisme *yaw* pada turbin angin, disinilah generator dan buritan dipasang sebagai engsel untuk menggerakkan turbin angin ke arah yang sama. Mekanisme *furling* berfungsi untuk melindungi turbin dari kerusakan yang disebabkan oleh hembusan

ıcang. Bahaya yang mengancam turbin saat angin kencang, yaitu sebagai

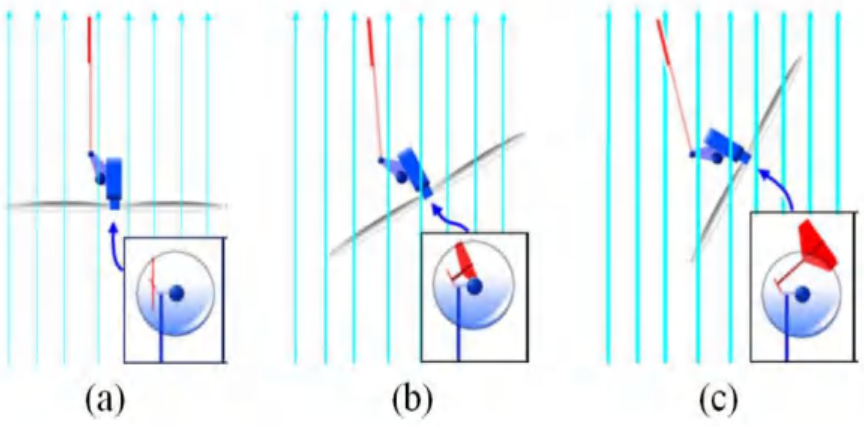
ɜarnya gaya sentrifugal akibat putaran rotor yang tinggi.

ɹrasi yang tinggi.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

c. Beban dari gaya dorong yg ditimbulkan angin kencang pada struktur turbin angin.

Oleh karena itu, mekanisme *furling* diterapkan untuk mencegah permasalahan di atas. Mekanisme *furling* memungkinkan *rotor* untuk berpaling dari arah datangnya angin berkecepatan tinggi sebagai upaya proteksi berikut proses dari mekamisme *furling* pada gambar 12 berikut ini. (Gusmeri dkk., 2019).



Gambar 12 Mekanisme *furling*: (a) pada kondisi angin dengan kecepatan normal; (b) pada kondisi angin dengan kecepatan sedang, dan (c) pada kondisi angin dengan kecepatan tinggi.

2.7 Computational Fluid Dynamics (CFD)

ANSYS adalah paket pemodelan elemen hingga numerik yang dapat memecahkan berbagai masalah mekanis. Soal-soal yang dimasukkan meliputi analisis struktur statik dan dinamik, baik linear maupun non-linier, soal distribusi panas dan fluida, serta soal sains padat dan elektromagnetik. Teknologi mekanik Ansys menggabungkan struktur dan material non-linear. Ansys adalah paket pemodelan elemen hingga yang tujuan utamanya adalah untuk memecahkan berbagai masalah mekanis secara numerik. Multifisika ANSYS juga memecahkan masalah panas, struktur, elektromagnetik, dan akustik. Ansys bekerja dengan metode analisis elemen hingga, dimana analisis objek dilakukan dengan membagi objek menjadi bagian-bagian kecil (elemen hingga) yang disebut loop, yang kan oleh node (ANSYS, 2021).

omputational Fluid Dynamics (CFD) merupakan analisa sistem yang p aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait. Seperti mia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (numerik) (Al- i, 2012). CFD yaitu teknik numerik yang digunakan untuk penyelesaian

Optimized using
trial version
www.balesio.com

persamaan yang mengatur masalah aliran fluida dan perpindahan panas di dalam geometri aliran yang ditentukan (Scott, 1994; Albaali & Farid, 2006).

2.7.1 Bilangan Reynold

Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan karakteristik utama aliran. apakah aliran itu laminar, transisi ataupun turbulen dan serta letaknya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen berbanding dengan laminar ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$Re = \frac{D.v.\rho}{\mu} \quad (10)$$

Dimana:

N_{re} : Bilangan Reynold

D : Diameter turbin angin (m)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : massa jenis fluida (Kg/m^3)

μ : viskositas dinamis fluida ($N.s/m^3$)

2.7.2 Proses *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah simulasi sistem rekayasa fluida menggunakan model (formulasi masalah fisika matematika) dan metode numerik (metode diskriminasi, pemecah, parameter numerik dan pembangkitan kisi, dll.).

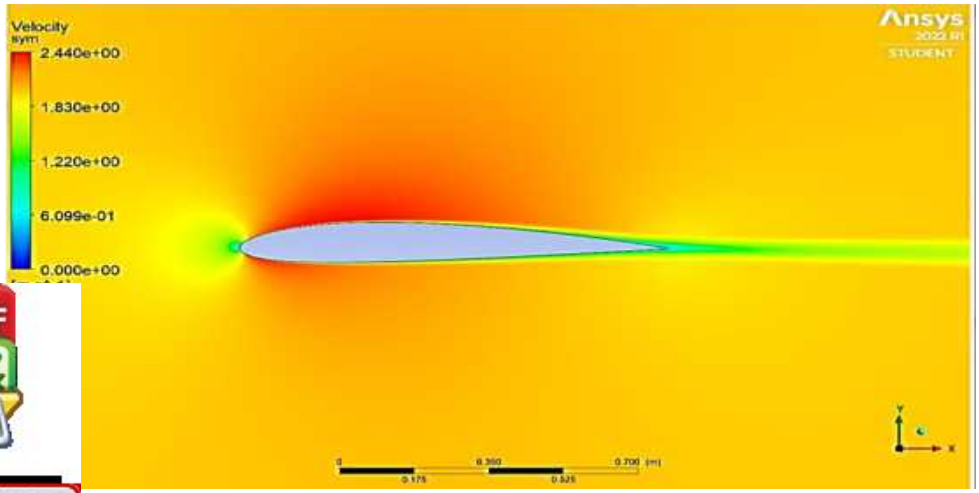
Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan penghitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Prinsipnya adalah suatu ruang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya (*meshing*). Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan. Pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan. CFD mengkhususkan penghitungan pada aliran fluida. Mulai dari ida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-asar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, ngan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan kukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persaman-persamaan ini adalah persamaan yang membangkitkan dengan memasukan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persaman adalah *boundary condition. Boundary condition* adalah kondisi di mana kontrol-kontrol penghitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol - kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persaman-persamaan yang terlibat (ANSYS, 2021).

Dalam tugas akhir ini akan digunakan *software* ANSYS CFX R2 2022 dengan kemampuan untuk menyajikan beberapa besaran dalam analisis fluida seperti suhu, tekanan, kecepatan aliran udara. CFX adalah salah satu dari jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. CFX dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (grid) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah, karena CFX menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap. CFX didukung oleh jenis mesh tipe 2D triangular quadrilateral, 3D tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge, dan mesh campuran (hybrid). CFX juga memungkinkan untuk memperhalus atau memperbesar mesh yang sudah ada (ANSYS, 2021).

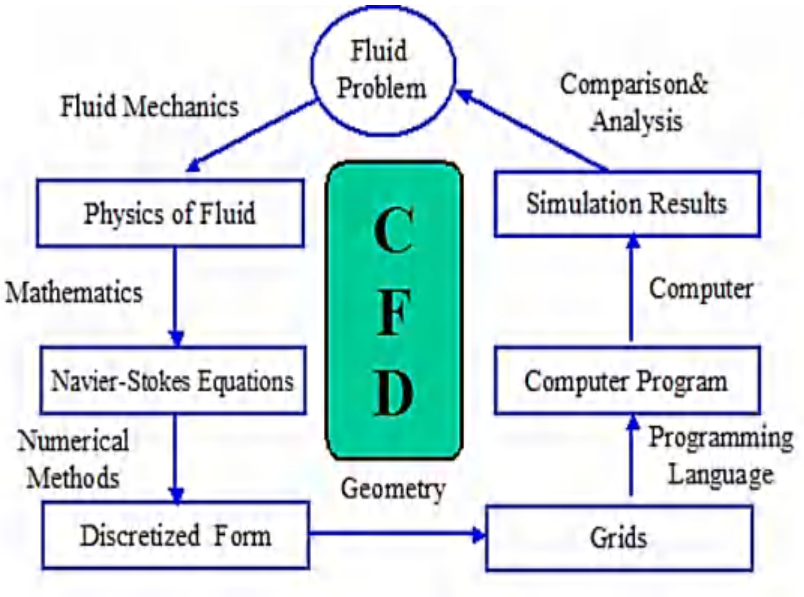
Gambar 13 Logo Ansys CFX



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 14 *Preview* Ansys CFX

Lalu, pada proses *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dijelaskan pada gambar 15 sebagai berikut.



Gambar 15 Cara kerja Computational Fluid Dynamics (CFD)

Sumber: (Zawawi *et al.*, 2018)

Proses pemecahan masalah dengan CFD-Ansys CFX terdiri dari tiga langkah yaitu, *Pre-processor*, *flow solver* (pemecah) dan *post-processor*.

1. Tahap *pra-prosesor*

Tahap ini adalah fase di mana data dimasukkan, dimulai dengan pembuatan domain dan diakhiri dengan pembuatan kondisi batas. Pada tahap ini objek atau ruang yang akan dianalisis dibagi menjadi sejumlah grid tertentu yang sering disebut meshing. Secara umum, langkah ini terdiri dari:

a. Pemodelan
b. Pembuatan domain fluida
c. Pemodelan kondisi batas
d. Optimasi model yang optimum
e. Pemihan jumlah *grid* yang optimum

Data yang diperlukan pada batas bergantung pada jenis kondisi batas dan model fisik yang digunakan (turbulensi, persamaan energi, model multifase, dll.). ang dibutuhkan dalam kondisi batas sudah diketahui atau diasumsikan ı. Namun, harus diasumsikan bahwa asumsi data yang digunakan ɛati kebenaran. Input data yang salah dalam kondisi batas memiliki ɛ yang signifikan terhadap hasil simulasi. Di bawah ini adalah beberapa untuk Ansys Ansys:

Optimized using trial version www.balesio.com

a. *Velocity Inlet*

Kondisi batas *velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran *incompresible.*

b. *Mass Flow Inlet*

Nilai tekanan *gauge* digunakan sebagai tebakan awal oleh CFX, selanjutnya akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses literasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulen sama dengan kondisi batas *velocity inlet.*

c. *Pressure Inlet*

Data tekanan total (*absolute*), tekanan gauge, temperatur, arah aliran dan dari nilai tekanan operasi dan tekanan gauge. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet.*

d. *Pressure Outlet*

Pola aliran ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (*backflow*) dan besaran turbulen aliran balik kondisi batas yang dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar dapat di ketahui nilai sebenarnya.

e. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali pada sisi keluar di ekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

f. *Pressure Far-Field*

Kondisi batas ini untuk memodelkan aliran kompresibel *free-stream* yang mempunyai dimensi yang sangat panjang jarak antara *inlet* dan *outlet* jauh. Besaran yang dimasukan adalah tekanan gauge dan bilangan *Mach,* temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

g. Dinding (*wall*)

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan.

Symmetry dan *Axis*

ada panel kondisi batas untuk kedua kondisi batas ini tidak ada input data erlukan. Kondisi batas simetri digunakan apabila model geometri kasus angkutan dan pola aliran pada model tersebut simetri. Kondisi batas ini t digunakan untuk memodelkan dinding tanpa gesekan pada aliran viskos.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Sedangkan kondisi batas axis digunakan sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D axisymmetry.

i. *Periodic*

Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang periodik, baik secara translasi atau rotasi.

j. *Cell Zone : Fluid*

Kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai fluida. Data yang dimasukkan hanya material fluida, didefinisikan sebagai media berpori.

k. *Cell Zone : Solid*

Data yang dimasukkan hanya material padatan didefinisikan *heat generation rate* pada kontinum solid. Sedangkan kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai padatan.

l. *Porous Media*

Kondisi batas ini digunakan dengan cara mengaktifkan pipihan *porous zone* pada panel fluida. *Porous zone* merupakan pemodelan khusus dari zona fluida selain padatan dan fluida. Digunakan untuk memodelkan aliran yang melewati media berpori dan tahanan yang terdistribusi, misalnya *packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks*.

2. Tahap *Flow Solver* (*Solution*)

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara *iteratif*. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD. Secara umum tahap ini terdiri dari:

a. Penentuan kondisi batas
b. Pemilihan jenis fluida
c. Penentuan kecepatan model
d. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
e. Penentuan batas konvergensi yang optimum

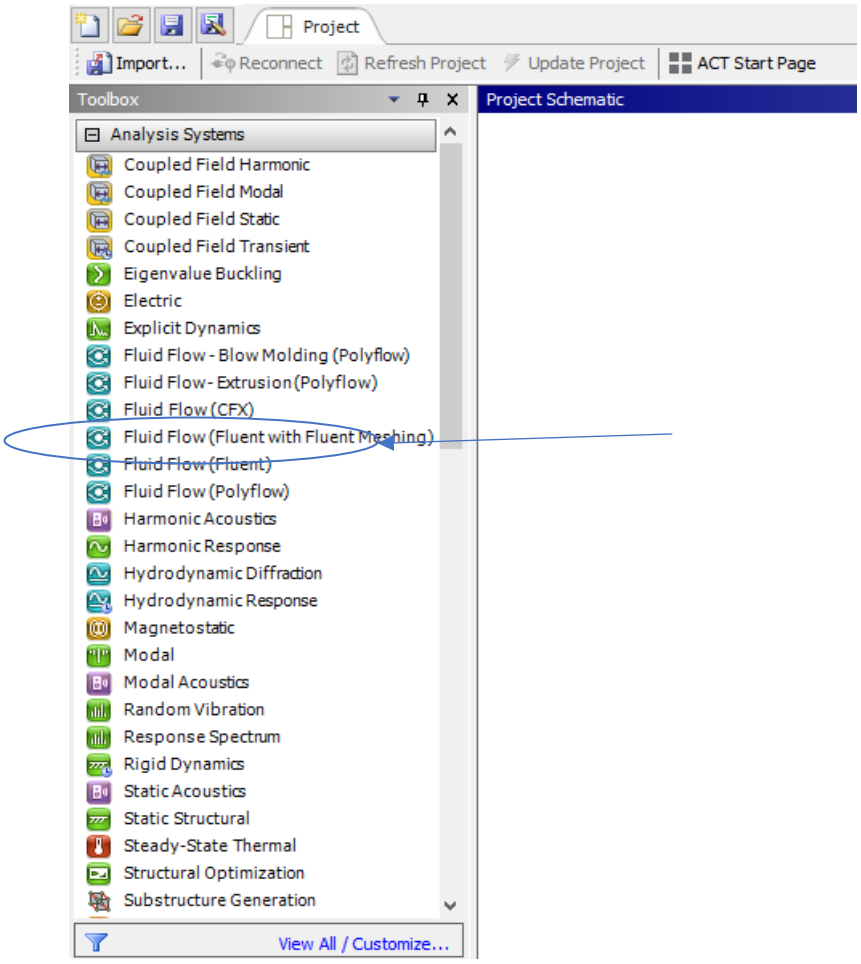
3. Tahap *Post Processor*

Post-Processor merupakan tahap yang digunakan untuk menganalisis, dan mempresentasikan hal interaktif sesuai dengan kasus yang sedang

Optimized using
trial version
www.balesio.com

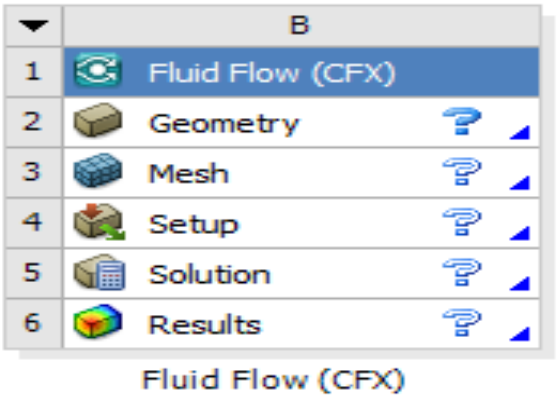
ditinjau. Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu (Zawawi *et al.*, 2018).

Proses desain dan analisis gambar yang dilakukan pada ANSYS WORKBENCH ini dapat dilakukan dalam bentuk gambar 2D maupun gambar 3D. Proses analisis yang dilakukan dapat dibagi bermacam-macam, antara lain analisis aliran fluida pada benda ataupun sistem, analisis manufaktur benda ataupun sistem, dan lain-lain. Pada saat ini lebih diarahkan dan terfokus pada analisis aliran fluida pada benda ataupun sistem. Proses analisis aliran fluida tersebut menggunakan menu toolbox pada sub menu analysis systems dengan menggunakan Fluid Flow (CFX). Adapun tampilan WORKBENCH pada gambar16 berikut ini.



Gambar 16 Tools Fluid Flow (CFX) Pada ANSYS WORKBENCH

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 17 Sub-bagian Tools Fluid Flow (CFX)

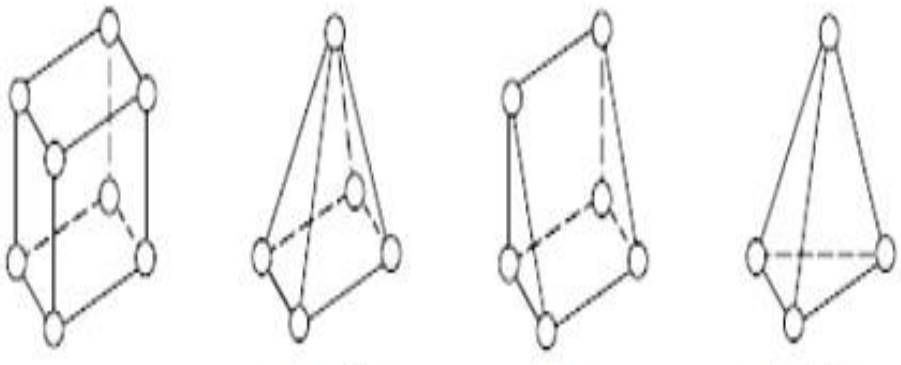
Sumber: ANSYS 2020 R2

a. Geometry

Bagian ini memiliki fungsi untuk melakukan desain bentuk geometri gambar sistem ataupun objek yang dibuat.

b. Mesh

Pembuatan mesh komputasi adalah proses pemisahan domain komputasi menjadi sekumpulan sel diskrit. Sel grid adalah polihedron, biasanya tetrahedron, hexahedron, prisma atau piramida. Tepi sel-sel ini membentuk garis-garis mesh komputasi. Titik-titik yang terletak di tepi atau di tengah sel adalah node grid. Sebagai hasil dari solusi numerik persamaan model aliran fluida, parameter aliran yang dicari diperoleh hanya pada node grid. Berikut bentuk khas dari sel grid pada mesh yang ditunjukkan pada gambar 18 berikut ini (Zawawi et al., 2018).



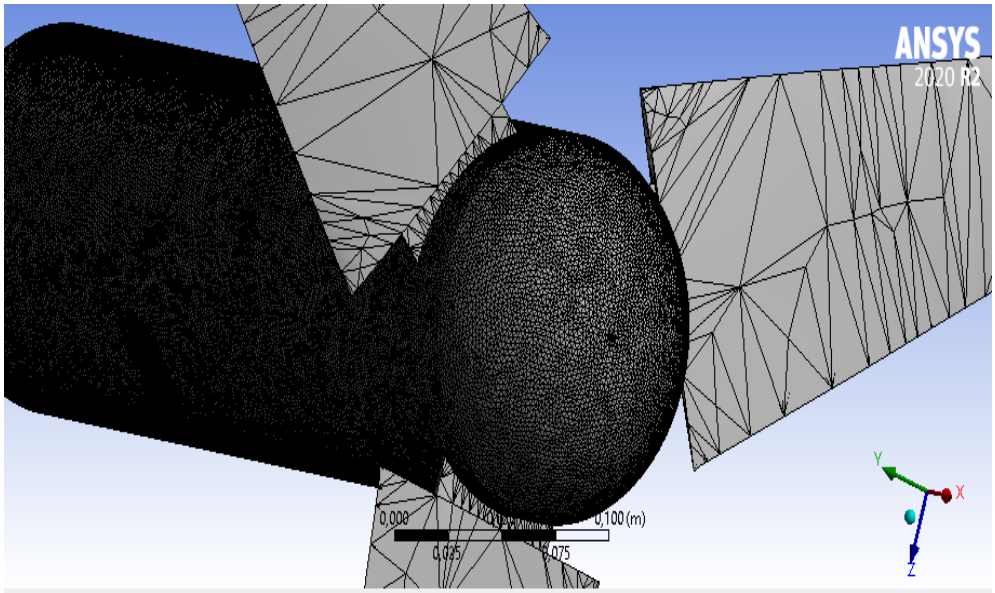
Gambar 18 Bentuk khas sel grid

ersyaratan utama untuk mesh komputasi – mesh tersebut harus cukup baik nyelesaikan efek fisik yang terjadi di dalam domain komputasi. Untuk presisi solusi yang seragam, node grid harus ditempatkan lebih padat di

Optimized using
trial version
www.balesio.com

tempat-tempat di mana terjadi perubahan tajam dalam parameter aliran, khususnya di dekat dinding

Bagian ini memiliki fungsi untuk melakukan meshing (grid) gambar yang telah dibentuk. Tujuan dari proses meshing ini yaitu membagi Fluid Flow (CFX) sistem ke dalam bentuk bagian yang lebih kecil dari keseluruhan sistem untuk melihat secara detail hasil analisis aliran fluida yang terdapat pada sistem tersebut ke depannya. Apabila proses meshing yang dilakukan menghasilkan grid cukup besar maka mengakibatkan analisis aliran fluida yang terjadi tidak terlalu baik, dengan penyimpangan cukup besar begitu juga dengan sebaliknya. Berikut contoh tampilan mesh pada gambar 19 berikut ini (ANSYS, 2021).

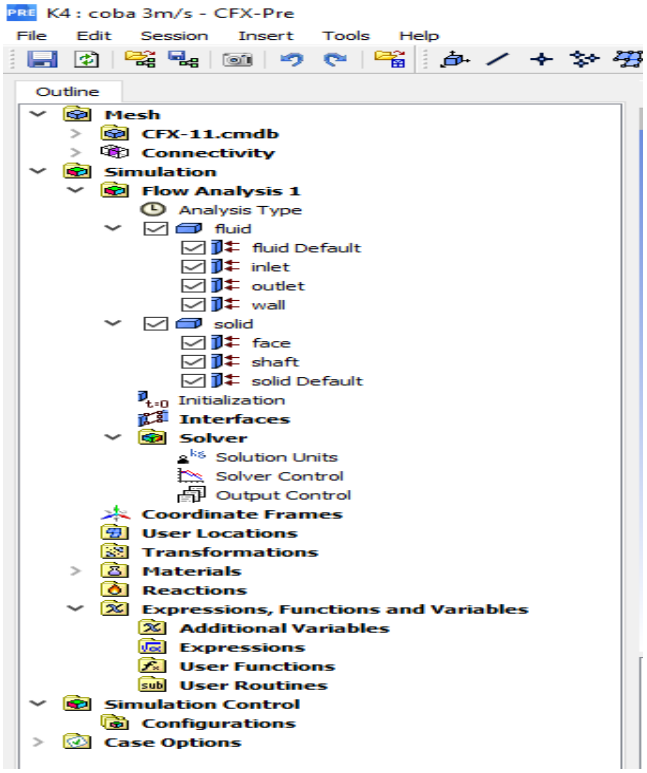


Gambar 19 tampilan Mesh pada Ansys CFX

c. Setup

Bagian ini memiliki fungsi untuk melakukan analisis gambar yang telah dilakukan proses meshing sebelumnya. Analisis yang dilakukan pada bagian ini antara lain analisis reaksi kimia antara sistem dengan lingkungan, perpindahan massa, perpindahan energi, dan lain-lain. Penentuan dan pemberian data parameter yang berpengaruh pada sistem tersebut dilakukan pada bagian ini. Analisis yang digunakan pada bagian Setup menggunakan persamaan-persamaan model ka. Berikut contoh tampilan setup pada gambar 20 berikut ini.

Optimized using
trial version
www.balesio.com



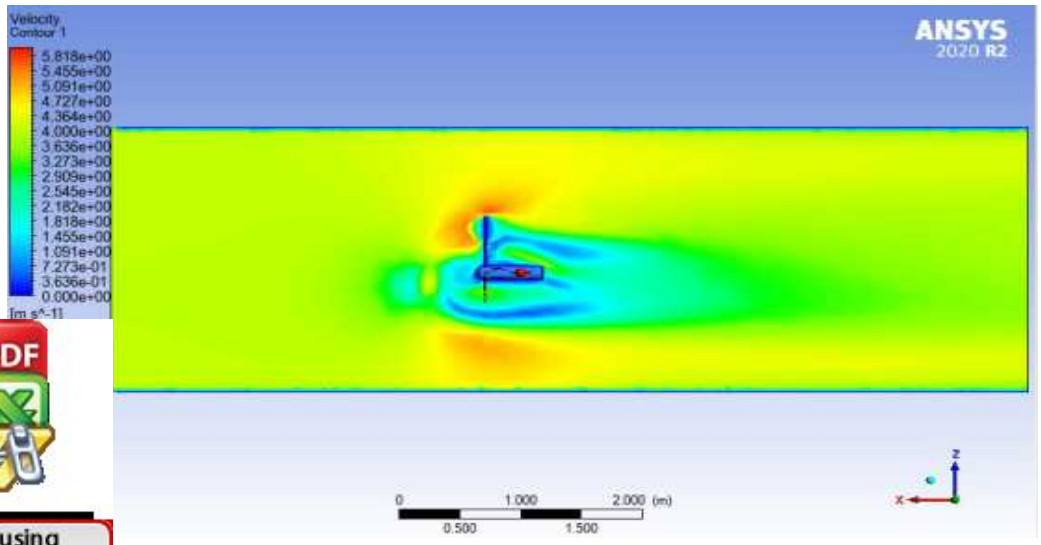
Gambar 20 Tampilan Setup pada Ansys CFX

d. Solution

Merupakan sub-bagian dari Setup, berfungsi menjalankan (running) perhitungan analisis aliran fluida hasil penentuan data parameter pada bagian Setup.

e. Result

Merupakan sub-bagian dari Setup, berfungsi untuk menampilkan hasil dari proses perhitungan analisis aliran fluida pada Solution sebelumnya. Hasil yang didapatkan berupa data grafik, animasi, dan laporan perhitungannya. Berikut contoh tampilan result pada gambar 21 berikut ini.



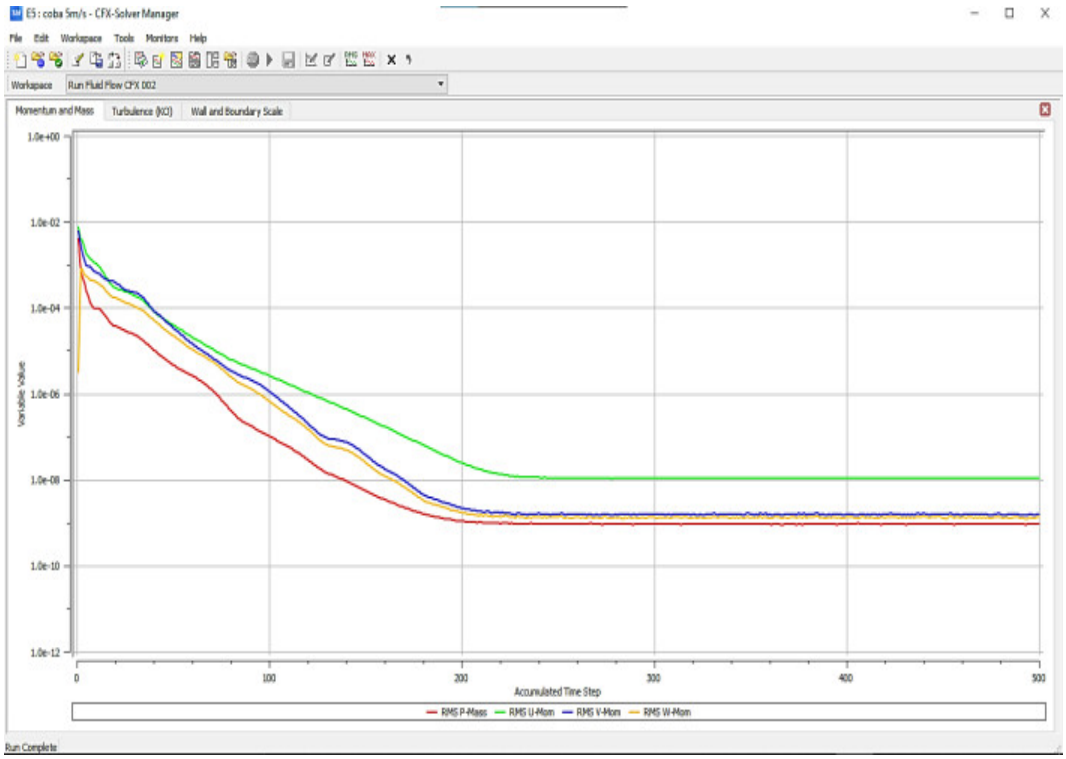
Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 21 Tampilan Result pada Ansys CFX

2.7.3 Validasi Hasil Simulasi

Selama proses perhitungan dengan pendekatan CFD dilakukan dengan beberapa tahap yaitu;

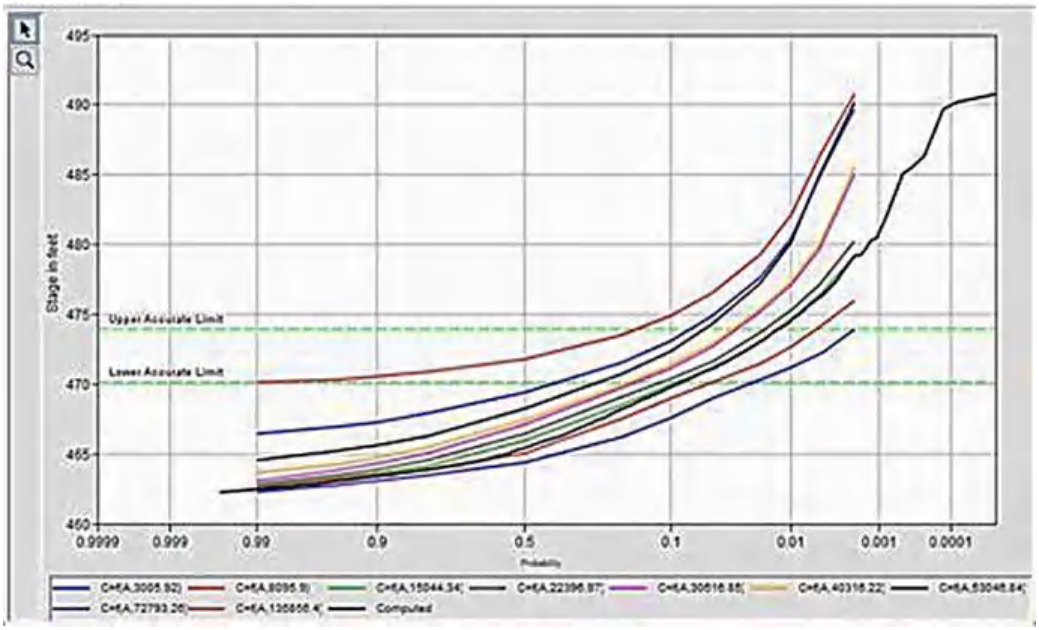
1. Konvergensi. Konvergensi merupakan pendekatan data dengan menggunakan metode numerik untuk mendapatkan data yang ideal, khususnya dalam implementasi CFD. Simulasi CFD melibatkan proses non-linier yang berkorelasi dengan fenomena yang tidak stabil secara *inheren* seperti turbulensi. Software CFD bertujuan untuk menyimulasikan proses fisik, dengan menangkap permasalahan fenomena fisik ke dalam persamaan numerik. Proses literasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan. Berikut adalah beberapa grafik RMS yang menunjukan konvergensi proses literasi.



Gambar 22 Konvergensi normal

Gambar 22 menunjukkan Konvergensi yang normal terjadi apabila pada afik, literasi yang terjadi cenderung turun dan berhenti setelah waktu yang tentukan. Konvergensi menunjukkan error apabila selama proses literasi afik yang terjadi naik turun dan cenderung datar, tidak mengalami nurunan dan tidak menentu nilai yang ditampilkan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 23 Konvergensi dan proses literasi yang terlalu cepat

Lalu, Gambar 23 menunjukkan proses prematur apabila literasi berhenti sebelum waktu yang telah ditentukan.

2. Grid Independence. Besarnya jumlah cell yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang didapat karena jumlah cell juga dapat mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat dilakukan *definite*. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah cell yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah cell yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar.
3. Membandingkan hasil simulasi dengan hasil analitis. Yang dimaksud dengan hasil analitis adalah hasil perhitungan manual (*hand calculation*) atau perhitungan teoretis. Jika pembuat simulasi tidak memiliki hasil analitis, dapat juga menggunakan hasil analitis peneliti yang lain asalkan parameternya sama.
4. Membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Jika pembuat simulasi tidak sampai melakukan eksperimen, maka dapat juga menggunakan hasil eksperimen peneliti yang lain asalkan parameternya sama.

Membandingkan hasil simulasi dengan hasil simulasi lain yang menggunakan perangkat lunak yang berbeda. Cara ini juga dapat menggunakan hasil simulasi peneliti lain asalkan parameternya sama.

Optimized using
trial version
www.balesio.com