

**SKRIPSI**

**KELAYAKAN EKONOMIS POTENSI ENERGI ANGIN DI  
DAERAH PESISIR KABUPATEN TAKALAR**

**Disusun dan diajukan oleh**

**RASTINA  
(D091171019)**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**KELAYAKAN EKONOMIS POTENSI ENERGI ANGIN DI**  
**DAERAH PESISIR KABUPATEN TAKALAR**

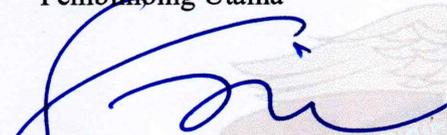
Disusun dan diajukan oleh

**RASTINA**  
**D091171019**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Studi Sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 16 Maret 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

  
**Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.**  
**NIP. 19810211 200501 1 003**

Pembimbing Pendamping

  
**Ir. Syerly Klara, M.T**  
**NIP. 19640501 199002 2 001**

Ketua Departemen

  
**Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.**  
**NIP. 19810211 200501 1 003**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Rastina  
NIM : D091171019  
Departement : Teknik Sistem Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### KELAYAKAN EKONOMIS POTENSI ENERGI ANGIN DI DAERAH PESISIR KABUPATEN TAKALAR

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. Olehkarena 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, 16 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,



Rastina

## ABSTRAK

**RASTINA.** *Kelayakan Ekonomis Potensi Energi Angin di Derah Pesisir Kabupaten Takalar* (dibimbing oleh Faisal Mahmuddin dan Syerly Klara).

Krisis energi yang terjadi disebabkan karena cadangan bahan bakar fosil semakin berkurang sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat, salah satu alasan pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan yaitu energi angin. Energi angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi produktifitas masyarakat. Oleh karena itu, pentingnya menganalisa kelayakan ekonomis energi angin terutama energi angin di pesisir Kabupaten Takalar. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode distribusi Weibull untuk mendapatkan parameter bentuk  $k$  (*Shape*) dan  $c$  (*scale*). Dimana penelitian ini menggunakan program *visual basic* untuk menganalisa kelayakan ekonomis turbin angin. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran langsung kecepatan angin harian dengan menggunakan arduino uno. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan angin rata rata, Selanjutnya kecepatan angin tersebut dihitung menggunakan parameter Weibull dan simulasi Monte Carlo sehingga didapatkan daya *real*. Kemudian daya *real* tersebut digunakan untuk menghitung analisa kelayakan ekonomis suatu proyek energi angin sehingga didapatkan hasil NPV = Rp. 69.976.115, IRR = 8,75 %, BCR = 9,75, PBP = 0,14 tahun, dengan penghasilan selama 10 tahun sebesar Rp. 77.973.670. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa analisa kelayakan ekonomis suatu proyek energi angin dengan simulasi Monte Carlo layak untuk dilaksanakan karena telah memenuhi beberapa syarat kelayakan.

Kata Kunci : Energi Angin, Distribusi Weibull, Simulasi Monte Carlo, Analisa kelayakan ekonomis.

## ABSTRACT

**RASTINA.** *Economic Feasibility of Wind Energy Potensial in the Coastal Area of Takala Regency.* (Supervised by Faisal Mahmuddin and Syerly Klara)

The energy crisis that occurs is caused by the decreasing reserves of fossil fuels while the energy needs are increasing, one of the reasons for the use of new and renewable energy sources is wind energy. So far, wind energy has been seen as an ordinary natural process that lacks economic value for people's productivity. Therefore, it is important to analyze the economic feasibility of wind energy, especially wind energy in the coastal area of Takalar Regency. The method used in this study is the Weibull distribution method to obtain shape parameters  $k$  (Shape) and  $c$  (scale). Where this study uses a visual basic program to analyze the economic feasibility of wind turbines. In this study, direct measurements of daily wind speed were carried out using Arduino Uno. From these results, the average wind speed is obtained. Furthermore, the wind speed is calculated using Weibull parameters and Monte Carlo simulation so that real power is obtained. Then the real power is used to calculate the economic feasibility analysis of a wind energy project so that the NPV = Rp. 69.976.115; IRR = 8.75 %; BCR = 9.75 ; PBP = 0.14 years, with income for 10 years of Rp. 77.973.670. Based on these results, it can be concluded that the economic feasibility analysis of a wind energy project using Monte Carlo simulation is feasible because it meets several eligibility requirements.

Keywords: Wind Energy, Weibull Distribution, Monte Carlo Simulation, Economic feasibility analysis.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Tujuan Masalah .....	2
I.4 Manfaat Penelitian .....	3
I.5 Batasan Penelitian .....	3
I.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
II.1 Energi Angin .....	5
II.I.1 .Konversi Energi Angin .....	7
II.I.2.Kecepatan Angin Rata – Rata .....	7
II.2 Turbin Angin.....	8
II.2.1. Jenis Jenis Turbin.....	9
II.2.2. Prinsip Kerja Turbin.....	10
II.3 Distribusi Weibull untuk Kecepatan Angin.....	11
II.3.1. Parameter Bentuk ( $c/\beta$ ).....	11
II.3.2. Paramerer Skala ( $b / \eta$ ).....	12
II.4 Simulasi Monte Carlo.....	14

II.5 Analisa Kelayakan Ekonomis .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
III.1 Lokasi Kegiatan Penelitian .....	19
III.2 Jenis Data Penelitian .....	19
III.3 Prosedur Penentuan Biaya Energi .....	20
III.4 Instalasi Rangkaian Turbin Angin .....	21
III.5 Kalkulasi Biaya .....	25
III.6 Tahapan Penelitian .....	26
III.7 Kerangka Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
IV.1. Distribusi Weibull .....	32
IV.2. Monte Carlo .....	34
IV.3. Biaya Investasi .....	34
IV.4. Perhitungan Kelayakan Ekonomis .....	35
IV.5. Analisa Hasil .....	41
IV.6. Input Data .....	42
IV.7. Simulasi Program .....	44
IV.8. Hasil Simulasi Program .....	44
IV.9. Analisa Perbandingan .....	47
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>49</b>
V.1 Kesimpulan .....	49
V.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>52</b>
Lampiran 1. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin .....	53
Lampiran 2. Tampilan Kode Profil Program .....	58
Lampiran 3. Tampilan Kode Utama Program .....	59
Lampiran 4 . Hasil Simulasi Program .....	73
Lampiran 5. Tabel Suku Bunga .....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Turbin Angin .....	8
Gambar 2. Macam – macam Desain Turbin Angin HAWT .....	9
Gambar 3. Macam – macam Desain Turbin Angin VAWT .....	10
Gambar 4. Plot degan Variasi Nilai Parameter Bentuk .....	12
Gambar 5. Plot dengan Variasi Nilai Parameter Skala .....	12
Gambar 6. Plot PDF <i>Weibull</i> .....	13
Gambar 7. Peta Lokasi dan Pengambilan Data .....	19
Gambar 8. Skema Hubungan Biaya energi Angin dengan Daya yang dihasilkan ..	20
Gambar 9. Rangkaian Rancangan Alat Ukur Kecepatan Angin .....	21
Gambar 10. Rangkaian Alat Pada Saat Pengambilan Data.....	22
Gambar 11. Anemometer Pada Saat Pengambilan Data.....	22
Gambar 12. Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Bulan .....	24
Gambar 13. Turbin Angin Horizontal.....	24
Gambar 14. Tampilan Awal Program.....	28
Gambar 15. Tampilan Form Distribusi <i>Weibull</i> dan Simulasi <i>Monte Carlo</i> .....	29
Gambar 16. Tampilan Form Analisa Kelayakan Ekonomis .....	29
Gambar 17. Kerangka Penelitian.....	31
Gambar 18. Grafik PDF Data Angin .....	32
Gambar 19. Grafik PDF Data Angin .....	33
Gambar 20. Power Curve.....	36
Gambar 21. Perbandingan antara Penghasilan dan Pengeluaran Turbin Selama 10 tahun.....	42
Gambar 22. Data Input Form 2 (Distribusi <i>Weibull</i> ).....	43
Gambar 23. Data Input Form 3 (Analisa Kelayakan Ekonomis) .....	43
Gambar 24. Hasil Simulasi Program (Form Distribusi <i>Weibull</i> ) .....	45
Gambar 25. Hasil Simulasi Program (Analisa Kelayakan Ekonomis) .....	45
Gambar 26. Perbandingan antara Penghasilan dan Pengeluaran Proyek Turbin .....	46

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tingkatan Kecepatan Angin 10 Meter diatas Permukaan tanah.....	6
Tabel 2. Data Tabulasi Kecepatan Angin Rata- Rata .....	23
Tabel 3. Spesifikasi Turbin Angin Horizontal .....	24
Tabel 4. Biaya Investasi Awal Turbin Angin.....	25
Tabel 5. Biaya Tahunan Turbin Angin Horizontal.....	26
Tabel 6. Data perhitungan Monte Carlo.....	34
Tabel 7. Penghasilan Turbin Angin Selama 10 Tahun .....	38
Tabel 8. Pengeluaran Turbin Angin Selama 10 Tahun.....	39
Tabel 9. Perbandingan Analisa Kelayakan Turbin .....	47

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )
B	Pembayaran Tahunan (Rp)
BCR	<i>Benefit Cost Rasio</i>
<i>c</i>	Parameter Skala
CDF (Fw)	Fungsi Distribusi Kumulatif
Ct	Biaya Investasi (Rp)
F	Nilai Uang Setelah Periode ke-n(Rp)
I	Tingkat Bunga (%)
<i>IRR</i>	<i>Internal Rate of Return(%)</i>
<i>k</i>	Parameter Bentuk
<i>MCS</i>	<i>Monte Carlo Simulation</i>
<i>NPV</i>	<i>Net Present Value</i>
P	Daya (Watt)
$\rho$	Massa Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )
<i>PBP</i>	<i>Payback Period (tahun)</i>
<i>PD</i>	<i>Power Density (Watt/m<sup>2</sup>)</i>
PDF (fw)	Fungsi Densitas Probabilitas
<i>Pr</i>	<i>Rated Turbine Power (watt)</i>
t	Periode (tahun)
<i>v</i>	Kecepatan Angin (m/s)
<i>Vci</i>	<i>Cut in Speed (m/s)</i>
<i>Vco</i>	<i>Cut out Speed (m/s)</i>
<i>Vr</i>	<i>Rated Speed (m/s)</i>

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengukuran Kecepatan Angin .....	53
Lampiran 2 Kode profil Program .....	58
Lampiran 3 Kode Utama Program.....	59
Lampiran 4 Hasil Simulasi Program.....	73
Lampiran 5 Tabel Suku Bunga.....	75

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr.Wb*

Alhamdulillah, Segala puji dan syukur kehadirat Allha SWT, yang telah memberikan nikmat yang sangat luar biasa kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini dan tidak lupa juga shalawat serta salam kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Berkat bimbingan, nasihat dan doa yang diberikan kedua orang tua juga berbagai pihak, Akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan juga dengan usaha yang maksimal. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan ketulusan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena pengalaman dan pengetahuan penulis yang terbatas. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak sangat diharapkan demi perbaikan skripsi di masa mendatang. Akhir kata semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada kita sekalian.

1. Kedua orang tua bapak Anwar yang telah memberikan segala dukungan dan doanya untuk memberikan yang terbaik bagi penulis, yang telah berjuang memberikan pendidikan terbaik bagi penulis ditengah kekurangan mereka.
2. Bapak Dr.Eng.Faisal Mahmuddin, ST.,M.Inf.Tech.,M.Eng dan Ibu Ir.Syerly Klara, MT. Yang telah berkenan membimbing , mengarahkan serta memberi kemudahan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk waktu ,tenaga,pikiran dan segenap perhatian yang kalian berikan kepada penulis.
3. Ibu Haryanti Rivai, ST.,MT.Ph.D dan Ibu Balqis Shintarahayu, ST.,M.Sc selaku penguji dalam tugas akhir ini.Terima kasih untuk segala masukan dan motivasi yang telah diberikan serta bantuan bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Teman – Teman Teknik Sistem Perkapalan angkatan 2017, yang senantiasa memotivasi dalam penyelesaian skripsi ini. Khususnya member Labo SBL yang telah banyak membantu penulis.

6. Dan kepada pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, Terima kasih atas semua saran, arahan, bimbingan semangat serta doanya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu penulis memohon maaf dan senantiasa menerima kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan – perbaikan yang kedepannya. Kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya. Amin Yaa Rabbal'Alamin

Gowa, Maret 2023

Penulis

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Krisis energi telah banyak melanda negara di berbagai belahan bumi diantaranya Indonesia, hal ini disebabkan karena cadangan bahan bakar fosil semakin berkurang sedangkan kebutuhan akan energi semakin meningkat salah satu jalan keluarnya adalah melakukan pemanfaatan energi alternatif dalam bentuk energi baru dan terbarukan, salah satu energi alternatif adalah energi angin.

Penggunaan angin sebagai sumber energi juga melibatkan kondisi dan cuaca yang selalu berubah ubah. Kondisi ini yang menyebabkan kecepatan angin yang nantinya diperoleh tidak konstan yang dapat mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan kurang optimal. Dari kondisi kecepatan angin ini secara umum dalam lingkungan pesisir pantai untuk menggerakkan turbin angin berkecepatan 3-8 m/s (Soelaiman, 2006).

Dalam hal ini, Pemodelan menggunakan program komputer adalah pilihan yang dapat mempermudah,mempercepat dan lebih hemat biaya. Untuk menganalisa kelayakan ekonomis dari proyek energi terbarukan, maka dibuat desain simulasi menggunakan program komputer yang berbasis *Visual Basic*. *Visual Basic* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu menentukan nilai ekonomis dari proyek energi terbarukan. Pada penelitian ini membahas tentang menguji kelayakan dari segi ekonomis sistem tersebut di pesisir pantai Kabupaten Takalar, yang memanfaatkan sumber energi terbarukan berupa energi angin untuk memberikan suplai energi listrik kepada masyarakat di daerah pesisir.

Pada penelitian sebelumnya telah dibuat suatu program berbasis *visual basic* untuk menghitung Analisa kelayakan ekonomis suatu proyek energi angin berdasarkan karakteristik lokasi. Penelitian tersebut menggunakan data angin di perairan selayar yang kemudian dihitung menggunakan parameter Weibull sehingga didapatkan nilai faktor bentuk (*k*) *shape*, faktor *skala* (*c*) serta (*P<sub>D</sub>*) *Power Density*. Nilai *power density* tersebut diolah sehingga mendapatkan daya ideal. Daya ideal inilah yang kemudian di simulasikan menggunakan simulasi

monte carlo sehingga didapatkan daya real. Daya real inilah yang kemudian digunakan untuk menghitung kembali nilai kelayakan ekonomis suatu proyek energi angin seperti NPV, IRR, BCR dan PBP.

Adapun penelitian ini bermaksud untuk membandingkan dengan penelitian sebelumnya, dimana penelitian ini menggunakan program visual basic dari penelitian sebelumnya untuk mengolah data dari pengukuran langsung di pesisir pantai kabupaten Takalar. Pengukuran tersebut menggunakan program arduino uno dari penelitian sebelumnya. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan kecepatan angin harian dan juga kecepatan angin rata-rata. Kecepatan angin tersebut kemudian di hitung menggunakan parameter weibull sehingga didapatkan nilai faktor ( $k$ ) *shape*, faktor *skala* ( $c$ ) serta ( $P_D$ ) *Power Density*. *Power Density* tersebut diolah sehingga mendapatkan daya ideal. Daya ideal inilah kemudian disimulasikan menggunakan simulasi monte carlo sehingga di dapatkan daya real. Daya real inilah yang kemudian digunakan untuk menghitung kembali nilai kelayakan ekonomis proyek energi angin guna melihat pengaruh perubahan daya real terhadap kelayakan dari suatu proyek energi angin berbasis *visual basic*. Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti melakukan penelitian dengan judul “Kelayakan Ekonomis Potensi Energi Angin Daerah Pesisir Kabupaten Takalar”.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas maka diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana melakukan pengambilan data angin di daerah pesisir Kabupaten Takalar ?
2. Bagaimana potensi angin di daerah pesisir Kabupaten Takalar ?
3. Bagaimana mengevaluasi potensi kelayakan ekonomis pada proyek energi angin ?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Dalam penelitian yang diusulkan memiliki tujuan utama sebagai berikut :

1. Mengetahui cara melakukan pengambilan data di daerah pesisir Kabupaten Takalar
2. Mengetahui potensi energi angin di daerah pesisir Kabupaten Takalar

3. Mengetahui kelayakan ekonomis pada proyek energi angin di daerah Kabupaten Takalar

#### **I.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memberi pengetahuan dalam pengambilan data angin di daerah pesisir Kabupaten Takalar .
2. Dapat memberikan informasi tentang potensi angin di daerah pesisir Kabupaten Takalar.
3. Dapat mengetahui apakah layak tidaknya di bangun proyek energi angin di daerah pesisir Kabupaten Takalar
4. Dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang akan mengangkat tema dengan sudut pandang yang berbeda.

#### **I.5 Batasan Masalah**

Agar pembahasan masalah dalam penelitian ini lebih terarah pada tercapainya tujuan penelitian maka peneliti memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi yang akan menjadi contoh kasus adalah pesisir di Kabupaten Takalar.
2. Hanya menganalisa berapa daya listrik yang dihasilkan proyek energi angin yang memiliki karakteristik lokasi.
3. Jumlah sampel data kecepatan angin yang digunakan 31 hari.
4. Hanya mengevaluasi potensi kelayakan ekonomis pada proyek energi angin

#### **I.6 Sistematika penulisan**

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi dan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola sebagai berikut :

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

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang dasar teori dari energi terbarukan turbin angin, perhitungan kelayakan ekonomis, Distribusi *Weibull*, metode *Monte Carlo*

## BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan lokasi penelitian, metode yang digunakan pada penelitian yaitu metode studi literatur, alur penelitian yang berupa pengumpulan data pembangkit listrik energi terbarukan yang diperoleh ketika penelitian telah dilakukan.

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil perhitungan data dari perancangan program untuk simulasi kelayakan ekonomis yang dihasilkan sistem pembangkit listrik energi terbarukan menggunakan program komputer *Visual Basic*.

## BAB V. PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil percobaan dan beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan yang akan datang.

Daftar Pustaka

Lampiran

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Energi Angin

Energi angin adalah udara yang bergerak secara tidak langsung merupakan energi yang berasal dari matahari, karena angin dipengaruhi oleh pemanasan yang dilakukan oleh matahari secara tidak merata dipermukaan bumi oleh matahari. Lapisan udara yang menghangatkan mengakibatkan perbedaan tekanan udara di atmosfer (Notosudjono, 2017).

Angin merupakan aliran udara dalam jumlah besar diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitar. Angin bergerak dari tempat udara yang bertekanan tinggi ke bertekanan rendah. Angin merupakan aliran gas yang berada dalam skala besar dan dalam jumlah yang besar diakibatkan oleh rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara yang ada di sekitar. Kecepatan angin dapat menggerakkan turbin angin yang dapat menghasilkan sumber energi terbarukan ramah lingkungan dengan memanfaatkan energi gerak yang berubah kedalam energi listrik. Turbin angin yang digunakan memiliki 2 klasifikasi yaitu bersumbu horizontal dan vertical (Kadir, 1995).

Potensi energi angin berdasarkan kecepatan Angin di Indonesia dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kelompok 1: Lokasi dengan kecepatan angin rata – rata 1- 2,5 m/det, daya yang dihasilkan antara 0 – 200 kwh/m<sup>2</sup> setahun. Kondisi angin tersebut kurang baik untuk didayagunakan.
2. Kelompok II: Lokasi dengan kecepatan angin rata – rata 2,5 – 4 m/det, Daya yang digunakan antara 201 – 1000kwh/m<sup>2</sup> setahun. Kondisi ini cukup baik sebagai penggerak sistem konversi energi listrik skala kecil dan keperluan pemompaan.
3. Kelompok III: Lokasi dengan kecepatan angin rata – rata 4,5 – 12 m/de, daya yang dihasilkan lebih dari 1000 kwh/m<sup>2</sup> setahun. Kondisi ini amat memadai untuk dikembangkan kemanfaatannya baik untuk pembangkit skala kecil maupun besar.

Syarat – syarat kecepatan angin dan kondisi angin digunakan untuk menghasilkan energi listrik diperhatikan pada tabel 1. Tabel berikut menjelaskan bahwa batas maksimum antara kelas 3 adalah batas minimum dan kelas 8 adalah batas maksimum yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Tingkatan kecepatan angin diberikan pada 10 meter dari permukaan tanah.

Tabel 1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter diatas permukaan tanah dalam satuan knots

<b>Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah</b>		
<b>Kelas</b>	<b>Kecepatan</b>	<b>Kondisi Alam di Daratan</b>
1	0,00 – 0,02	-
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10, 7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Tornado

(Sumber : Habibie dkk,2011)

### II.1.1 Konversi Energi Angin

Konversi energi angin adalah penggunaan efisiensi dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar- benar di perlukaan. Upaya konservasi energi ditetapkan pada seluruh tahap pemanfaatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan akhir,dengan menggunakan teknologi yang efisien dan membudayakan pola hemat energi dengan memanfaatkan energi yang dapat diperbaharui, dalam hal ini energi angin. Prinsip kerja dari sistem konversi energi kinetik angin adalah mengkonversikan energi kinetik angin menjadi listrik melalui putaran kumparan generator. Energi kinetik pada turbin angin diperoleh dari suatu proses konversi energi angin (Harijono, 2001).

Energi angin merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali. Proses pemanfaatan energi angin melalui dua tahapan konversi (Habibie dkk, 2011) yaitu:

1. Aliran Angin akan menggerakkan rotor (baling – baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

### II.1.2 Kecepatan Angin Rata- Rata

Salah satu informasi yang paling penting pada spektrum angin yang tersedia di lokasi adalah kecepatan rata- rata .untuk perhitungan kecepatan angin rata- rata di tunjukkan oleh :

$$V_m = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n v_i^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Dimana  $v$  adalah kecepatan angin dan  $n$  adalah jumlah data angin, Kecepatan angin rata- rata , distribusi kecepatan angin dalam suatu wilayah juga merupakan faktor penting dalam analisis energi angin. Salah satu ukuran dalam variabilitas kecepatan dalam himpunan data angin adalah standar deviasi ( $\sigma v$ ). Standar deviasi merupakan penyimpanan kecepatan individual dari nilai rata- rata.

Jika kecepatan angin disajikan dalam bentuk distribusi frekuensi. Deviasi rata – rata dan standar yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Vm = \left( \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i v_i^3}{\sum_{i=1}^n f_i} \right) \quad (2)$$

$$\sigma v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (v_i - v_m)^3}{\sum_{i=1}^n f_i}} \quad (3)$$

$f_i$  adalah frekuensi dan  $V_i$  adalah nilai tengah dari interval yang sesuai. Kecepatan angin rata – rata tidak bertepatan dengan kecepatan angin yang sering. Umumnya kecepatan angin rata- rata lebih tinggi dari frekuensi terbesar kecepatan angin kecuali untuk angin pasat yang relatif stabil sepanjang waktu. Kurva distribusi kumulatif dibuat dengan memplot waktu kumulatif dimana kecepatan angin berada dibawah batas atas dari interval kelas (Sathyajith, 2006).

## II.2 Turbin Angin

Turbin angin atau yang disebut pula dengan kincir angin merupakan alat yang dipergunakan untuk menangkap energi angin yang berupa gerak translasi untuk diubah menjadi gerak rotasi dan merupakan sarana pengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Berikut adalah turbin angin dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Turbin angin (<https://internasional.kompas.com>)

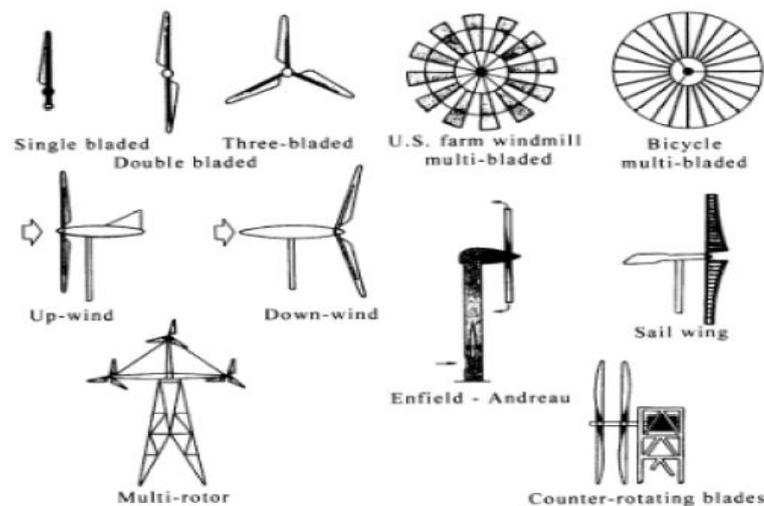
## II.2.1 Jenis- Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu turbin angin horizontal dan turbin angin vertikal. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Turbin angin terbagi atas dua Jenis, yaitu (Puspitasari, 2018):

### 1) Turbin Angin Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT)

Turbin angin propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.

HAWT merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk airfoil seperti bentuk sayap pada pesawat. Secara umum semakin banyak jumlah blade, semakin tinggi putaran turbin.

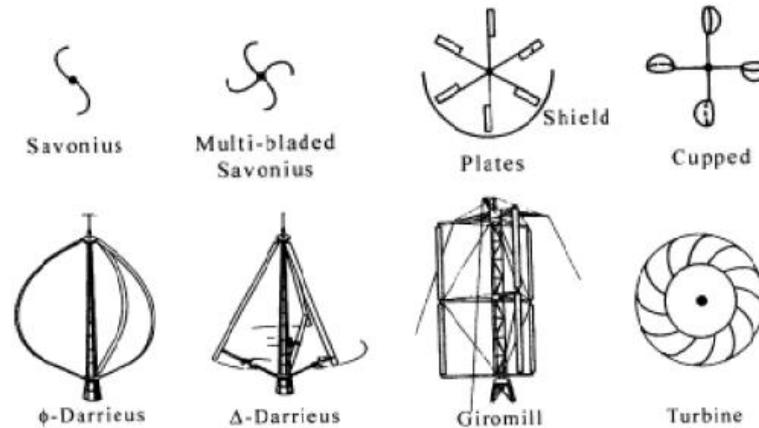


Gambar 2 Macam-macam desain turbin angin HAWT (Puspitasari, 2018)

### 2) Turbin Angin Vertikal (Vertical Axiz Wind Turbin /VAWT)

VAWT merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. VAWT juga mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan di antaranya. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin.

Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah dan efisiensi lebih rendah dibandingkan HAWT.



Gambar 3 Macam-macam desain turbin angin VAWT (Puspitasari, 2018)

## II.2.2 Prinsip Kerja Turbin

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik (Suhartanto, 2014).

Jadi proses tahapan konversi bermula dari mengubah energi mekanik dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan listrik. Energi angin dikonversi sebagian menjadi energi putar oleh rotor. Tanpa roda gigi, putaran rotor tersebut biasanya digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan energi listrik. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan daya pada turbin angin sebagai berikut :

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

Keterangan:

- P : Daya (Watt)
- A : Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)
- ρ : Massa Jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- V : Kecepatan Angin (m/s)

Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan pada malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasinya sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja (Suhartanto, 2014).

### II.3 Distribusi *Weibull* Untuk Kecepatan Angin

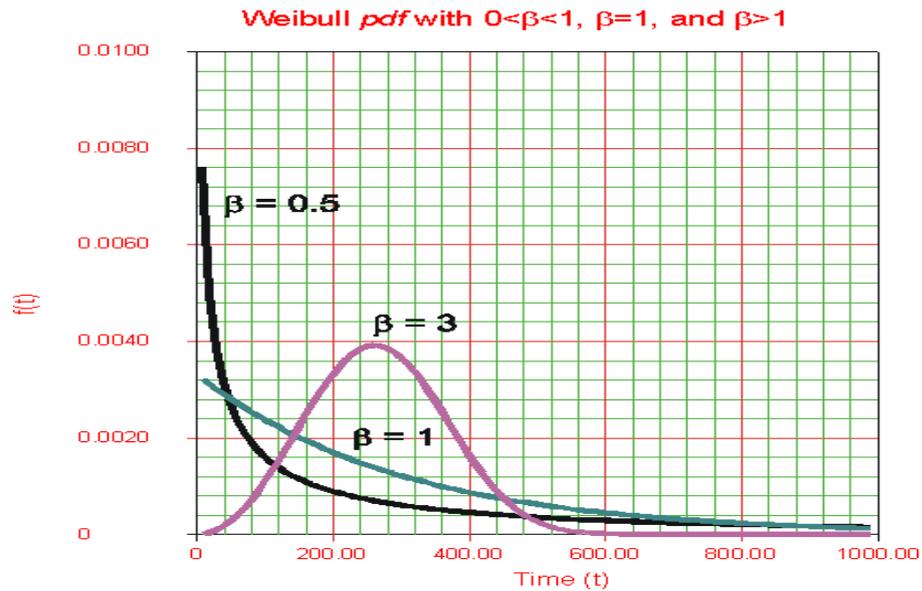
Distribusi *Weibull* sering dipakai sebagai pendekatan untuk mengetahui karakteristik fungsi kerusakan karena perubahan nilai akan mengakibatkan Distribusi *Weibull* mempunyai sifat tertentu ataupun ekuivalen dengan distribusi tertentu. Distribusi ini adalah distribusi serbaguna yang dapat mengambil karakteristik dari jenis lain dari distribusi, berdasarkan nilai dari bentuk parameter.

Distribusi *Weibull* dapat digunakan untuk memodelkan distribusi kecepatan angin di tempat kejadian tertentu dan karenanya, dapat membantu dalam penilaian sumber daya angin dari tempat kejadian.

Pada dasarnya distribusi probabilitas *Weibull* dicirikan dengan ketiga parameternya. Parameter yang dimaksud adalah parameter bentuk, parameter skala, dan parameter lokasi. Ketiga parameter ciri tersebut diuraikan sebagai berikut (Otaya, 2016).

#### II.3.1 Parameter Bentuk ( $c/\beta$ )

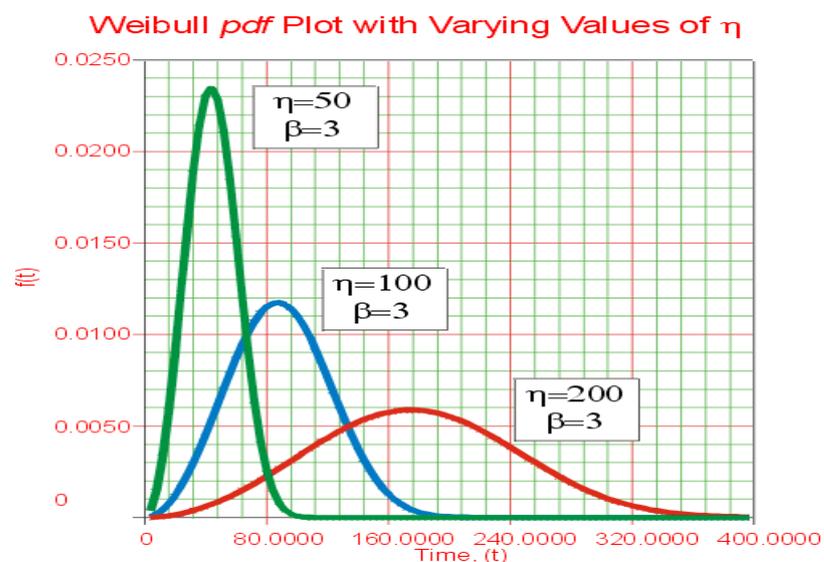
Parameter bentuk juga dikenal sebagai lereng *Weibull*. Hal ini karena nilai parameter bentuk  $c / \beta$  sama dengan kemiringan garis dalam plot probabilitas. Nilai yang berbeda dari parameter bentuk dapat memiliki efek pada distribusi data. Bahkan, beberapa nilai dari parameter bentuk akan menyebabkan persamaan distribusi yang berbeda. Misalnya, ketika  $\beta = 1$ , model tiga parameter *Weibull* menjadi model dua parameter. Gambar berikut ini menunjukkan efek dari nilai-nilai yang berbeda dari parameter bentuk,  $\beta$ , pada bentuk *probability density function* / pdf (dengan  $a / \gamma$  konstan). Berikut ini contoh plot dengan variasi nilai parameter bentuk.



Gambar 4 Plot PDF dengan variasi nilai parameter bentuk (Otaya, 2016)

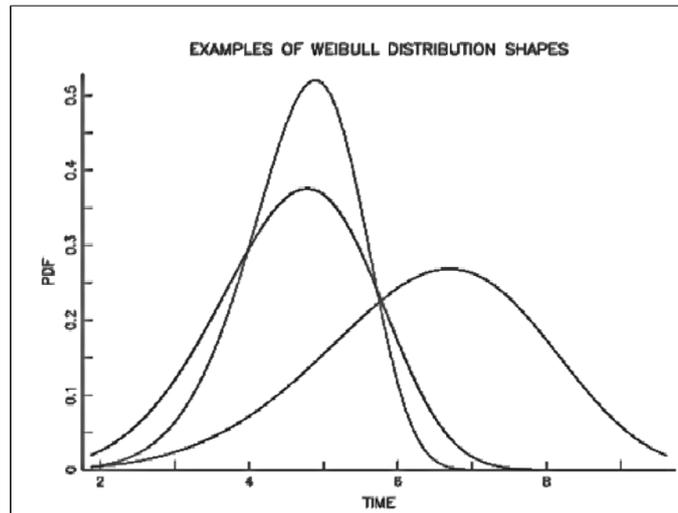
### II.3.2 Parameter Skala ( $b / \eta$ )

Parameter skala ( $b / \eta$ ) menunjukkan skala absis. Perubahan parameter skala, ( $b / \eta$ ) memiliki efek pada distribusi sebagai perubahan dari skala absis. Peningkatan nilai parameter skala ( $b / \eta$ ) dengan mengontrol ( $c / \beta$ ) konstan memiliki efek peregangan keluar pada *probability density function* (pdf). Karena daerah di bawah kurva pdf adalah nilai konstan satu, "puncak" dari kurva pdf juga akan menurun dengan meningkatnya parameter skala ( $b / \eta$ ), seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 5 Plot PDF dengan variasi nilai parameter skala (Otaya, 2016).

Distribusi *Weibull* adalah model distribusi probabilitas yang sangat fleksibel dengan dua parameter. Memiliki CDF dan PDF tergantung pada nilai  $\gamma$  parameter bentuk, model *Weibull* secara empiris dapat memuat berbagai bentuk data yang histogram. Hal ini ditunjukkan oleh PDF contoh kurva di bawah ini.



Gambar 6 Plot PDF *weibull* (Otaya, 2016).

Dari model sudut pandang tingkat kegagalan, Distribusi *Weibull* adalah perluasan alami dari tingkat kegagalan Model eksponensial konstan sejak *Weibull* memiliki tingkat kegagalan polinomial dengan eksponen  $\{\gamma-1\}$ . Hal ini membuat semua kurva tingkat kegagalan yang ditampilkan dalam plot berikut mungkin.

Berdasarkan ciri-ciri Distribusi *Weibull* yang dikemukakan di atas, dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya Distribusi *Weibull* dicirikan dengan ketiga parameternya yaitu parameter bentuk, parameter skala, dan parameter lokasi yang digunakan dalam menganalisis data waktu hidup atau jangkauan untuk menyajikan informasi tentang keakuratan dan kemampuan untuk model berbagai tingkat kegagalan yang fleksibel (Otaya, 2016).

Selanjutnya, fungsi distribusi kumulatif *Weibull* diberikan dengan :

$$Fw = \int_0^{\infty} f(v)dv = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (5)$$

Fungsi realibilitas *Weibull* adalah :

$$fw = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (6)$$

Setelah mendapatkan nilai dari fungsi (k) dan fungsi (c) selanjutnya menentukan nilai *Power Density* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PD = \left(\frac{\rho x c^3}{2}\right) x \left(\frac{3}{k}\right) x \left(\frac{3}{k} \gamma\right) \quad (7)$$

Keterangan :

$P_D$  = *Power Density* (Watt/m<sup>2</sup>)

$c$  = Faktor Skala (m/s)

$k$  = Faktor bentuk

## II.4 Simulasi *Monte Carlo*

Simulasi *Monte Carlo* dikenal juga dengan istilah *Sampling Simulation* atau *Monte Carlo Sampling Technique*. *Sampling simulation* ini menggambarkan kemungkinan penggunaan data sampel dalam metode *Monte Carlo* dan juga sudah dapat diketahui atau diperkirakan distribusinya. Simulasi ini menggunakan data yang sudah ada (*historical data*) yang sebenarnya dipakai pada simulasi untuk tujuan lain. Dengan kata lain, apabila menghendaki model simulasi yang mengikutsertakan *random* dan *sampling* dengan distribusi probabilitas yang dapat diketahui dan ditentukan maka cara simulasi *Monte Carlo* ini dapat dipergunakan. Metode simulasi *Monte Carlo* ini cukup sederhana dalam menguraikan ataupun menyelesaikan persoalan, termasuk dalam penggunaan programnya di computer (Sugiharto, 2007).

Simulasi *Monte Carlo* digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif (Monte Carlo Method, 2008). Dalam simulasi *Monte Carlo* sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model tersebut memiliki probabilitas yang berbeda. Yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau biasa disebut dengan *probability distribution function (pdf)* dari setiap variabel. Metode *Monte Carlo* mensimulasikan sistem tersebut berulang kali, ratusan kali, bahkan sampai ribuan kali tergantung sistem yang ditinjau, dengan cara memilih sebuah nilai *random* untuk setiap variabel dari distribusi probabilitasnya. Hasil yang

didapatkan dari simulasi tersebut adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai sebuah sistem secara keseluruhan

Untuk menentukan daya yang dapat dihasilkan oleh sistem konversi yang dipasang di lokasi tertentu, tenaga angin produksi disimulasikan menggunakan *Monte Carlo Simulation* (MCS). Namun sebelum menjalankan simulasi tersebut, perlu untuk memilih terlebih dahulu jenis turbin. Setelah jenis turbin ditentukan, produksi daya turbin yang telah dipilih dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$P = \begin{cases} 0, & \\ PR(A + Bv + Cv^2), & \begin{matrix} 0 \leq v \leq V_{ci} \\ V_{ci} \leq v \leq V_r \\ V_r \leq v \leq V_{co} \\ v \leq V_{co} \end{matrix} \\ PR, & \\ 0, & \end{cases} \quad (8)$$

Dimana PR merupakan *rated power output*,  $V_{ci}$  the cut in speed,  $V_r$  the rated speed, and  $V_{co}$  The cutout speed of he selected turbine. A, B dan C merupakan koefisien yang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \\ B &= \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \\ C &= \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \end{aligned} \begin{cases} \left[ V_{ci}(V_{ci} + V_r) - 4V_{ci}V_r \left( \frac{V_{ci} + V_r}{2V_r} \right)^3 \right] \\ \left[ 4(V_{ci} + V_r) \left( \frac{V_{ci} + V_r}{2V_r} \right)^3 - (3V_{ci} + V_r) \right] \\ \left[ 2 - 4 \left( \frac{V_{ci} + V_r}{2V_r} \right)^3 \right] \end{cases} \quad (9)$$

Persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung kurva daya dari turbin. Untuk memulai MCS, pengambilan sampel kecepatan angin dari distribusi Weibull harus diselesaikan terlebih dahulu. Untuk tujuan ini, logaritma natural dari kedua sisi persamaan (2) untuk mendapatkan :

$$v = c[-1n(1 - p)]^{1/k} \quad (10)$$

Dimana  $p$  merupakan bilangan acak yang diambil dari populasi yang terdistribusi secara merata dalam kisaran  $0 \sim 1$ . Dengan demikian, besarnya daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin angin dapat ditentukan dengan melakukan langkah-langkah berikut :

1. Menentukan distribusi jarak angin sampling
2. Pilih jenis turbin angin dan parameternya
3. Menghitung kecepatan angin acak
4. Tentukan keluaran daya dari kurva daya

5. Ulangi langkah 3 dan 4 hingga jumlah iterasi maksimum atau konvergensi yang di toleransi tercapai.
6. Ambil daya rata-rata yang diperoleh pada langkah 4. Rata-rata dapat diasumsikan sebagai produksi daya yang diharapkan dari sistem konversi (Mahmuddin, 2015).

## II.5 Analisis Kelayakan Ekonomis

Untuk menentukan kelayakan ekonomis pada sistem pembangkit listrik turbin angin maka dibutuhkan perhitungan *Time Value of Money*, *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *PayBack Period* (PBP). Adapun penjelasan sebagai berikut :

### a) Time Value Of Money

*Time value of money* atau nilai waktu dari uang merupakan konsep yang menyatakan bahwa nilai uang sekarang akan lebih berharga dari pada nilai uang di masa mendatang. Metode yang digunakan dalam *time value of money* yaitu :

#### 1. Menghitung Nilai Pengeluaran

Menghitung pengeluaran dengan memperhitungkan nilai uang pada masa yang akan mendatang. Rumus yang digunakan yaitu (Diwantari, 2016) :

$$F = \frac{B[(1+i)^t - 1]}{i(1+i)^t} \quad (11)$$

Keterangan:

$B$  = Pembayaran Tahunan (Rp)

$F$  = Nilai Uang Setelah Periode ke-n (Rp)

$i$  = Tingkat Bunga (%)

$t$  = Periode (tahun)

#### 2. Present Value

Menghitung penghasilan dengan memperhitungkan nilai uang pada masa yang akan mendatang. Rumus yang digunakan :

$$F = \frac{B[(1+i)^t - 1]}{i(1+i)^t} \quad (12)$$

Keterangan:

- $B$  = Pembayaran Bulanan (Rp)  
 $F$  = Nilai Uang Setelah Periode ke-n (Rp)  
 $i$  = Tingkat Bunga (%)  
 $t$  = Periode (tahun)

b) Net Present Value (NPV)

Metode *Net Present Value* digunakan untuk menghitung nilai bersih (*netto*) pada waktu sekarang (*present*). *Net Present Value* atau nilai bersih sekarang merupakan selisih antara PV kas bersih dengan PV investasi selama umur investasi. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *Net Present Value* adalah (Mathew, 2006) :

$$NPV = Bt - Ct \quad (13)$$

Keterangan:

- $Bt$  = Penghasilan (Rp)  
 $Ct$  = Biaya Investasi (Rp)

Hasil dari perhitungan *Net Present Value* (NPV) terhadap keputusan investasi yang akan dilakukan adalah (Diwantari, 2016) :

- Jika : NPV bernilai positif , maka investasi layak  
 NPV bernilai negatif , maka investasi tidak layak  
 Jika :  $NPV > 0$  , maka investasi layak  
 $NPV < 0$  , maka investasi tidak layak  
 $NPV = 0$  , maka investasi tidak memiliki pengaruh apapun

c) Internal Rate Of Return (IRR)

Metode *Internal Rate of Return* (IRR) adalah suatu tingkat bunga (bukan bunga bank) yang menggambarkan tingkat keuntungan dari suatu proyek atau investasi dalam persentase pada saat dimana nilai NPV sama dengan nol. Rumus yang digunakan untuk menghitung IRR yaitu (Diwantari, 2016) :

$$IRR = \left( \frac{Bt}{Ct} \right) - 1 \quad (14)$$

Keterangan:

$Bt$  = Penghasilan (Rp)

$Ct$  = Biaya Investasi (Rp)

kelayakan suatu usaha atau proyek dari segi *Internal Rate of Return* adalah sebagai berikut :

Jika :  $IRR > rate\ of\ return$ , maka investasi layak.

$IRR \leq rate\ of\ return$ , maka investasi tidak layak diaplikasikan.

d) Benefit Cost Rasio (BCR)

Metode *Benefit Cost Ratio* (BCR) biasanya digunakan pada tahap awal dalam mengevaluasi perencanaan investasi. Metode BCR ini memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya dan kerugian yang akan ditanggung (*cost*) dengan adanya investasi tersebut. Rumus umum yang digunakan dalam menghitung nilai *Benefit Cost Ratio* yaitu :

$$BCR = \frac{Bt}{Ct} \quad (15)$$

Jika :  $BCR \geq 1$  , maka investasi layak (*feasible*)

$BCR < 1$  , maka investasi tidak layak (*unfeasible*)

e) Payback Period (PBP)

Metode *Payback Period* (PBP) merupakan teknik penilaian untuk mengetahui seberapa lama jangka waktu (periode) yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi dari suatu proyek atau usaha. Rumus yang digunakan untuk menghitung *Payback Period* adalah :

$$PBP = \frac{\text{Biaya investasi}}{(\text{Penghasilan Tahunan} - \text{Pengeluaran Tahunan})} \quad (16)$$

Untuk menilai kelayakan suatu usaha atau proyek dari segi *Payback Period* adalah :

Jika :  $PBP > umur\ ekonomis\ proyek$ , maka tidak layak.

$PBP < umur\ ekonomis\ proyek$ , maka layak.