

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Referensi yang terkait dengan penelitian ini sebagaimana yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu seperti:

Pada penelitian yang berjudul “Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi *Output* Turbin Angin di Lebak Banten”. Penelitian ini menghasilkan *output* simulasi dengan menggunakan *Software WAsP* menghasilkan kecepatan angin rata rata tahunan sebesar 5,86 m / s dan rapat daya angin rata rata tahunan sebesar 225 W/m². Lokasi yang dianalisa adalah area terbuka dengan sedikit rintangan (*obstacle*) berupa bukit bukit kecil dan pepohonan yang tidak rapat serta tersebar. WAsP melakukan perhitungan kecepatan angin dan rapat daya dalam 2 tahap yaitu tanpa peta faktor dan dengan peta faktor [18].

Dalam penelitian berikutnya yang berjudul “*Wind Turbine Blade Efficiency and Power Calculation with Electrical Analogy*”. Penelitian ini menghasilkan analisa energi yang tersedia untuk konversi terutama bergantung pada kecepatan angin dan luas sapuan turbin. 1 kW yang didapat dari kecepatan angin 11 m/s dengan luas sapuan *blade* 1 meter diameter turbin angin yang dirancang dengan dukungan perangkat lunak. *Blade* turbin angin memiliki kekuatan dan efisiensi yang telah diukur pada berbagai rasio kecepatan angin dan juga dihitung menggunakan perangkat lunak. Kekuatan *blade* turbin angin dan efisiensi telah diukur pada rasio *tip-speed-ratio* yang berbeda dan efisiensi maksimum yang dicatat 30% pada TSR 11,6 memverifikasi akurasi *blade* [19].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul “Perancangan PLTB Sumbu *Vertikal Tipe Savonius*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik keluaran arus dan tegangan yang dihasilkan dari pemanfaatan turbin angin *vertical axis* tipe Savonius pada generator magnet permanen kecepatan rendah. Hasil dari pengujian tegangan dan arus yang dihasilkan generator magnet permanen tergantung pada kecepatan angin sebagai penggerak generator. Untuk kincir 4 bilah dapat menghasilkan 51 volt dan arus 0,25 mA pada 420 rpm. Kincir 3 bilah dapat menghasilkan 40 volt dan arus 0,20 mA pada 337 rpm. Semakin kencang kecepatan angin maka tegangan dan arus yang dihasilkan generator semakin besar [20].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul “Analisa Teknis dan Ekonomi Penggunaan *Wind Turbine* dan *Solar Cell* Pada Kapal Perikanan”. Pada penilain ini Tujuannya adalah untuk mendapatkan tipe dan ukuran *wind turbine* dan *solar cell* yang optimum serta memiliki biaya investasi yang rendah dari beberapa variasi *wind turbine*. Analisis *wind turbine* yang dilakukan adalah pada kecepatan kapal 7 knot, kecepatan angin 10,686 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 12,77 knot dengan sudut serang angin terhadap *wind turbine* (*angle of attack, α*) adalah 180 (arah angin berlawanan dengan arah kapal). Dari hasil analisa didapatkan *wind turbine* yang *optimum* untuk dipasang di kapal adalah tipe sumbu horisontal dengan diameter rotor 3,6 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 2 unit dan *solar cell* yang dapat dipasang adalah sebanyak 3 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan *wind turbine* sebesar 0,684 kN sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan kapal sebesar 1,09 knot. Dengan total biaya investasi dan operasional awal yaitu Rp.243.088.294, pemasangan *wind turbine* dan *solar cell* ini dapat menghemat biaya sebesar Rp.183.384.000 per tahun [21].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul “Visibilitas Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Pantai Payum Merauke”. Pantai Payum sebagai salah satu daerah dengan kebutuhan energi listrik cukup tinggi dan terletak di salah satu pesisir pantai Kabupaten Merauke tentu memiliki potensi energi angin. Kajian tentang seberapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan dari potensi energi angin di pantai Payum, sampai saat ini belum pernah dilakukan. Metode yang digunakan adalah dengan pengukuran kecepatan angin, simulasi menggunakan *software WRPLOT-view* untuk menentukan distribusi kelas angin dan arah angin serta analisa matematis untuk menghitung potensi energi angin. Kecepatan angin rata-rata sebesar 5,07-5,17 m/s tiap bulan, jumlah hari yang berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 27,24 – 30,85 hari/bulan, dan potensi energi angin sebesar 1205,91 – 1280 watt-hari/bulan. Dengan demikian, di pantai Payum berpotensi untuk penempatan pembangkit listrik tenaga angin [22].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul “*Wind Power Potential at Benau, Savusavu, Vanua Levu, Fiji*”. Penilaian angin didasarkan pada kecepatan angin 3 tahun dan data arah yang disediakan oleh Departemen Energi Fiji. Potensi energi angin dianalisis dengan menggunakan *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*. Ini menunjukkan bahwa Benau memiliki kecepatan angin rata-rata 6,24 m / s dan kerapatan

daya rata-rata 590 W / m² pada 30 m di atas permukaan laut. WASP memverifikasi bahwa peternakan angin dengan 2 turbin memiliki produksi energi tahunan rata-rata (AEP) sebesar 641 MWh. Analisis ekonomi untuk pembangkit tenaga angin prospektif dilakukan dengan menggunakan turbin angin Vesta V27 dan Vergnet (GeV) 275 kW. Analisis ekonomis menunjukkan bahwa turbin angin Vergnet 275 kW memiliki produksi energi tahunan maksimum (AEP) untuk peternakan angin terpadu. Biaya energi yang diratakan adalah \$ 0,08 / kWh dengan rasio biaya terhadap manfaat 1,38 dan tingkat pengembalian internal (IRR) sebesar 21,3% [23].

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkit listrik tenaga bayu merupakan solusi untuk pembangkit listrik pedesaan terpencil. Dari penelitian terdahulu dijelaskan bahwa dengan sistem pembangkit listrik tenaga bayu, kualitas layanan dan jaminan pasokan listrik lebih baik dibandingkan hanya pembangkit listrik surya. Pada penelitian terdahulu, metode yang dominan digunakan adalah simulasi menggunakan WASP dan WRPLOT dengan memilih konfigurasi sistem yang optimal berdasarkan hasil optimasi dari banyak skenario yang dibuat.

Pada penelitian ini akan menggunakan HOMER untuk simulasi sistem yang akan didesain. Dibandingkan dengan penelitian - penelitian sebelumnya masih belum memakai suatu standar untuk perancangan suatu pembangkit listrik tenaga bayu / angin. Pada penelitian ini hanya mendesain satu ukuran yang optimal sesuai dengan standart AS/NZS 4509.2:2010 tentang *stand alone power system Part 2: System Design*, dan melakukan penyesuaian pada komponen pembangkit listrik tenaga bayu berdasarkan hasil penelitian PT. Lentera Angin Nusantara sebagai salah satu perusahaan yang bergerak di bidang energi terbarukan khususnya angin. Hasil sebuah analisa desain system akan disimulasi untuk mendapatkan analisis teknis dan ekonomis, selama umur proyek yaitu 25 tahun.

2.2. Profil Kabupaten Kepulauan Mentawai

Kabupaten Kepulauan Mentawai terletak disebelah barat pulau Sumatera terpisah oleh laut dan sekaligus berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Kabupaten kepulauan Mentawai merupakan salah satu kabupaten di provinsi Sumatera Barat. Secara astronomis, Kabuaten Kepulauan Mentawai terletak antara 0°55" Lintang Utara dan 3°21" Lintang Selatan serta 98°35" dan 100°32" Bujur Timur.

Kabupaten Kepulauan Mentawai memiliki luas wilayah tercatat 6.0011,35 km². Kecamatan Siberut Barat merupakan kecamatan yang memiliki luas wilayah terluas yaitu

1.123,86 km^2 . Dan kecamatan Sipora Selatan memiliki luas daerah terkecil yaitu 268,47 km^2 . Luas wilayah Kabupaten Kepulauan Mentawai sama dengan 14,35 % dari wilayah Provinsi Sumatera Barat. Kepulauan mentawai terdiri atas gugusan pulau –pulau yakni pulau siberut, Pulau sipora , pulau Pagai Utara, Pulau Sipora Selatan dan 95 pulau kecil lainnya sesuai dengan UU RI No 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan pulau-pulau kecil. Pulau Siberut merupakan pulau terbesar dibandingkan dengan pulau-pulau kecil. Pulau Pagai Utara dan pulau Pagai Selatan merupakan dua pulau yang sering disebut secara bersamaan, Pulau Pagai Utara Selatan , Karena kedua pulau ini letaknya sangat berdekatan yang hanya dipisahkan selat kecil yang kurang dari 1 km.

Kabupaten Kepulauan Mentawai terdiri dari 10 kecamatan dan 43 desa. Kecamatan pagai selatan merupakan kecamatan yang berada di bagian paling selatan sedangkan kecamatan Siberut Utara berada di bagian paling utara [8].



Gambar 2.1. Letak geografi Kepulauan Mentawai di Provinsi Sumatera Barat [35].

Dari Gambar 2.1 di atas, dapat dilihat bahwa Kabupaten Kepulauan Mentawai memiliki 4 pulau utama diantaranya Pulau Siberut, Pulau Sipora, Pulau Pagai Utara dan Pagai Selatan [8]. Pada penelitian ini, desa yang akan menjadi studi kasus berada di kawasan Kecamatan Sipora Utara yang merupakan desa satu satunya yang belum teraliri listrik di kecamatan Sipora Utara sedangkan daya terbesar pembangkit listrik tenaga diesel di kecamatan tersebut paling besar dan juga merupakan kecamatan yang dimana Ibukota Kabupaten berada, dan kecamatan ini berada di Pulau Sipora.

2.3 Gambaran Umum Kecamatan Sipora Utara

2.3.1. Geografi dan Iklim

Secara geografi Kecamatan Sipora Utara berada di bagian utara pulau Sipora dengan luas wilayah mencapai 383,08 km², tepatnya berada di ujung utara Pulau Sipora yang merupakan salah satu dari 4 pulau utama di Kepulauan Mentawai. Kecamatan Sipora Utara berada di titik koordinat 1° 57' 00" – 2° 18' 00" Lintang Selatan dan 98° 30' 00" - 99° 42' 00" Bujur Timur [8], seperti yang ditunjukkan oleh peta topografi kabupaten Kepulauan Mentawai pada Gambar 2.2.

Untuk temperatur rata-rata tahunan di Kecamatan Sipora Utara yang diambil dari data SSE milik NASA berdasarkan titik koordinat Kecamatan sebesar 26,6°C, dengan temperatur minimum mencapai 25,8°C dan temperatur maksimum mencapai 27,4°C. Untuk kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3,19 m/s pada ketinggian 10 meter [11].



Gambar 2.2. Letak geografi Kecamatan Sipora Utara dan Desa Betumonga [35].

Kecamatan Sipora Utara memiliki 6 desa yaitu: desa Tua Pejat, desa Sipora Jaya, desa Sido Makmur, desa Gosooinan, desa Saureinuk, desa Bukit Pamewa, dan desa Betumonga. Dari 7 desa tersebut desa Tua pejat memiliki daerah terluas di kecamatan Sipora Utara dan merupakan Ibukota Kabupaten Kepulauan Mentawai, dengan luas 126,06 km² atau 47,26 % dari luas wilayah kecamatan Sipora Utara. Sedangkan Desa Betumonga merupakan desa terluas kedua setelah desa Tua Pejat dan terjauh, dengan luas 48,40 km² atau 18,14 % dari luas kecamatan Sipora Utara, dan dengan jarak 63 km dari ibukota

kecamatan. Secara geografis seluruh desa di Kecamatan Sipora Utara bertopografi datar dengan letak geografis berada di pesisir/tepi pantai [24]

2.3.2. Penduduk

Jumlah penduduk di Kecamatan Sipora Utara sebanyak 12.056 jiwa di tahun 2015, dengan kepadatan penduduk 52,83 jiwa/km², hal ini ditampilkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Jumlah dan kepadatan penduduk Kecamatan Sipora Utara tahun 2015 [8].

Desa/Kelurahan	Jumlah Penduduk		Jumlah RT	Luas Wilayah (km ²)	Kepadatan Penduduk (Jiwa/km ²)
	Laki-laki	Perempuan			
Betumonga	468	433	185	48.40	31
Goisooinan	623	561	228	37.16	32
Bukit Pamewa	331	311	123	10.00	64
Sipora Jaya	1.092	1.027	514	35.11	60
Sido Makmur	437	417	166	10.00	85
Tua Pejat	3.011	2.745	1128	126.06	45

Untuk rata-rata jumlah penduduk per rumah tangga (KK) menurut desa dan kelurahan di Kecamatan Sipora Utara pada tahun 2016 ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2. Rata-rata jumlah penduduk per rumah tangga Kecamatan Sipora Utara 2016.

Desa/Kelurahan	Jumlah Penduduk	Jumlah Rumah Tangga	Rata-rata (jiwa/KK)
Betumonga	901	185	5
Goisooinan	1.184	228	5
Bukit Pamewa	642	123	5
Sipora Jaya	2.119	514	4
Sido Makmur	854	166	5
Tua Pejat	5.756	1.128	5
Jumlah	11.456	2.344	5

2.3.3. Ekonomi

Struktur perekonomian masyarakat di Kabupaten Kepulauan Mentawai didominasi oleh 4 kategori besar, yaitu: kategori pertanian, kehutanan dan perikanan; kategori konstruksi; kategori perdagangan besar dan eceran kategori transportasi dan pergudangan.

Hal ini terlihat dari besarnya kontribusi masing-masing kategori ini terhadap pembentukan PDRB Kabupaten Kepulauan Mentawai jika dibandingkan dengan 13 kategori lainnya, dapat dilihat pada Tabel 2.3. Total PDRB pada tahun 2014 sebesar Rp.2.999.384,3 sumbangan terbesar dihasilkan oleh kategori pertanian, kehutanan dan perikanan. Sementara untuk pengadaan listrik dan gas hanya menyumbang 0,02%, hal ini ditampilkan pada Tabel 2.4 [8].

Tabel 2.3. Distribusi produk domestik regional bruto kabupaten kepulauan mentawai atas dasar harga berlaku menurut lapangan usaha (dalam persen), 2010–2014 [8].

Lapangan Usaha/Industri	2010	2011	2012	2013	2014
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	51,90	51,71	50,47	49,96	49,60
Pertambangan dan Penggalian	1,81	1,73	1,75	1,82	1,93
Industri Pengelolaan	3,52	3,53	3,48	3,37	3,22
Pengadaan Listrik dan Gas	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pengadaan Air, Pengolahan Sampah, Limbah dan Daur Ulang	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Konstruksi	10,04	10,12	10,73	11,18	11,05
Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi mobil dan sepeda motor	11,90	11,85	12,12	11,96	11,93
Transportasi dan Pergudangan	9,29	9,46	9,57	9,86	10,47
Penyedia Akomodasi Makan dan Minum	0,58	0,58	0,61	0,63	0,64
Informasi dan Komunikasi	0,85	0,88	0,90	0,85	0,13
Jasa Keuangan dan Asuransi	0,12	0,12	0,13	0,13	0,92
Real Estat	0,96	0,93	0,90	0,90	0,92
Jasa Perusahaan	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib	6,91	6,91	7,09	6,97	6,85
Jasa Pendidikan	0,83	0,87	0,90	0,96	0,99
Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial	0,54	0,55	0,58	0,60	0,60
Jasa Lainnya	0,69	0,70	0,70	0,74	0,76
PDRB	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabel 2.4. Peranan Lapangan Usaha terhadap PDRB Kategori Pengadaan Listrik dan Gas (dalam persen), 2010-2014 [8].

Lapangan Usaha / Industri	2010	2011	2012	2013	2014
Ketenagalistrikan	90,29	89,82	89,54	89,33	89,84
Pengadaan Gas	9,71	10,18	10,46	10,67	10,16
Pengadaan Listrik dan Gas	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Dari tahun 2010 sampai 2014 tercatat bahwa pertumbuhan ekonomi Kabupaten Kepulauan Mentawai mengalami laju pertumbuhan sebesar 5,15%, Meskipun pertumbuhan ekonomi mengalami peningkatan, Kabupaten Kepulauan Mentawai merupakan kabupaten yang memiliki angka kemiskinan tertinggi di Provinsi Sumatera Barat dengan persentase 15,52% di tahun 2015, dan menurun menjadi 15,12% di tahun 2016 [8].

2.3.4. Energi

Rasio elektrifikasi Kabupaten Kepulauan Mentawai di tahun 2016 berdasarkan data dari kepala bidang energi dan ketenagalistrikan dinas ESDM sebesar 42,30 %. Sumber penerangan di Kabupaten Kepulauan Mentawai di tahun 2016 sebagian besar disuplai dari pembangkit listrik milik PT. PLN (Persero). Namun, geografi daerah kepulauan membuat jaringan listrik utama dari PT. PLN (Persero) sulit menjangkau daerah terpencil, sehingga banyak daerah yang masih tidak mendapatkan akses jaringan listrik PT. PLN (Persero). Dikarenakan faktor tersebut masyarakat yang di desa terpencil lebih memilih menggunakan Genset sebagai teknologi untuk penerangan. Selain itu masyarakat juga masih ada yang menggunakan peralatan penerangan konvensional berupa pelita, senter, obor, dan lainnya.

Untuk sumber bahan bakar/energi utama memasak masyarakat Kabupaten Kepulauan Mentawai di tahun 2016 sebagian besar masih menggunakan sumber energi konvensional berupa kayu bakar. Masyarakat juga sebagian sudah menggunakan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Namun, untuk penggunaan minyak tanah sendiri lebih sedikit dibandingkan penggunaan kayu bakar dan LPG [7].

2.3.5 Penarikan Sampel

A. Definisi Sampel

Sampel adalah bagian dari populasi yang mewakili seluruh karakteristik dari populasi. Sebuah populasi dengan kuantitas besar dapat diambil sebagian dengan kualitas

sampel yang mewakili sama persis dengan kualitas dari populasi dengan kata representatif. jumlah dari sampel tidak selalu besar dan juga tidak selalu kecil, hal ini bergantung pada pada keterwakilan karakter dari sampel.

B. Tujuan Pengambilan Sampel

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, pengambilan sampel pada sebuah penelitian hanya dilakukan jika sampel adalah sebuah keharusan. Dasar yang digunakan dalam pengambilan sampel diakibatkan oleh alasan bersifat konstruktif, destruktif, atau alasan yang bersifat teknis sehingga sampel adalah satu-satunya solusi.

C. Syarat Pengambilan Sampel

Sampel harus memiliki seluruh kriteria dari populasi oleh karean pertimbangan pengambilan sampel harus memiliki dua kriteria yakni :

1. Presisi

Presisi dari sampel adalah pertimbangan mengenai estimasi yang mungkin muncul dalam pengambilan data yang diakibatkan oleh sampel. Salah satu cara untuk estimasi data ini adalah melihat standar deviasi dari data yang ada. Sampel yang digunakan harus baik dari segi kualitas dan kuantitas.

2. Akurasi

Akurasi mengacu kepada sifat dan karakter dari sampel yang digunakan. Sebuah populasi yang homogen hanya terdapat pada kasus yang bersifat teoritik. Sifat dan karater dari sampel yang diambil terkadang tidak sesuai dengan keadaan populasi karena pengaruh banyak hal. Peneliti harus memiliki kemampuan untuk mengetahui secara detail karakter dari setiap sampel yang digunakan dan disesuaikan dengan karakter dari populasi.

D. Ukuran Sampel

Pada dasarnya tidak ada aturan baku mengenai pengambilan ukuran dari sampel selama sampel sudah mewakili karakteristik dari populasi. Namun dalam penelitian yang bersifat psikologi seperti pada penelitian pendidikan, Semakin besar jumlah akan menghasilkan data yang lebih stabil.

Jumlah sampel sampel selanjutnya dihitung dengan persamaan :

$$S = \frac{x^2 \cdot N \cdot P \cdot Q}{d^2 \cdot (N-1) + x^2 \cdot P \cdot Q} \quad (2.1)$$

Keterangan :

s = Jumlah Sampel

N = Jumlah Populasi

x^2 = Nilai table *chisquare* (dk = 1)

$P = Q = 0.5$

d = Taraf Signifikan (1%, 5%, 10%)

Berdasarkan Slovin, ukuran sampel dapat ditentukan dengan rumus :

$$s = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (2.2)$$

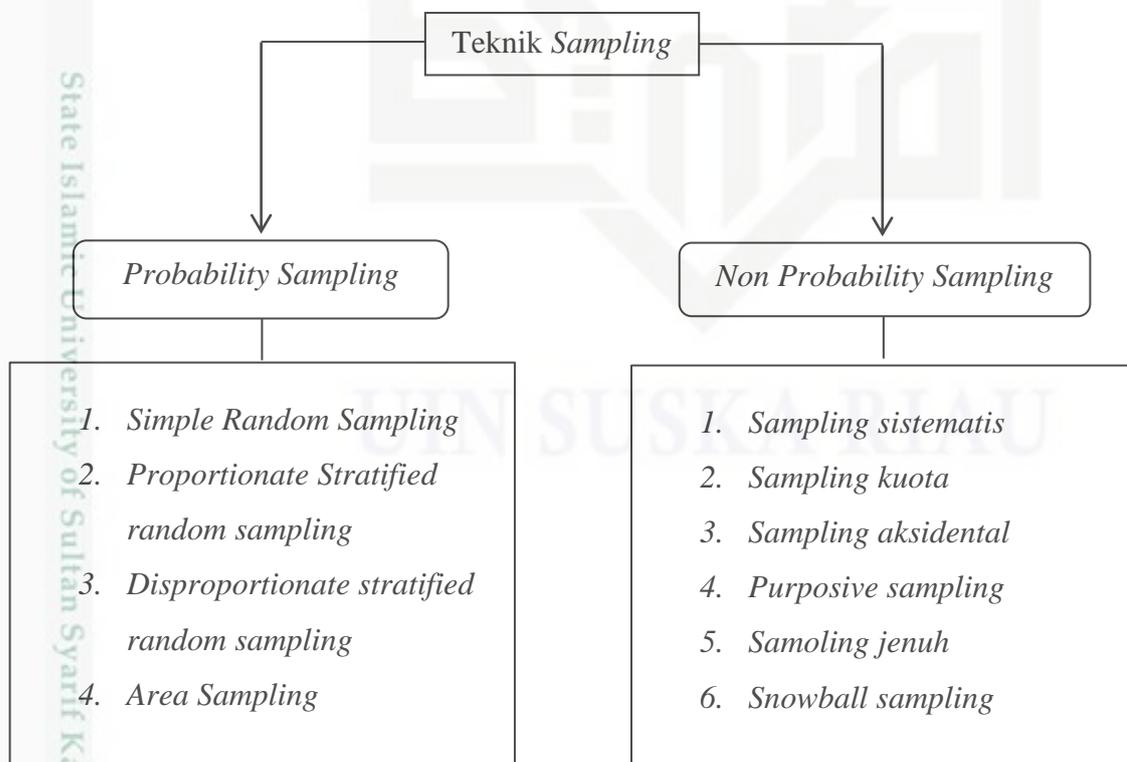
s = Jumlah Sampel

N = Jumlah Populasi

e = Taraf Signifikan

E. Teknik Sampling

Teknik sampling adalah merupakan teknik pengambilan sampel dengan menyatakan bahwa yang dimaksud dengan teknik sampling adalah cara untuk menentukan sampel yang jumlahnya sesuai dengan ukuran sampel yang akan dijadikan sumber data sebenarnya, dengan memperhatikan sifat-sifat dan penyebaran populasi agar diperoleh sampel yang representatif. Untuk menentukan sampel yang akan digunakan dalam penelitian, terdapat berbagai teknik sampling yang digunakan. Secara skematis, menurut teknik sampling ditunjukkan pada gambar di bawah ini [37].



Skema 2.1 Teknik Sampling

Dari skema di atas terlihat bahwa teknik *sampling* pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu *Probability Sampling* dan *Non probability Sampling*. *Probability sampling meliputi: simple random sampling, proportionate stratified random sampling, disproportionate stratified random sampling, dan area (cluster) sampling (sampling menurut daerah)*. *Nonprobability sampling meliputi: sampling sistematis, sampling kuota, sampling aksidental, purposive sampling, sampling jenuh, dan snowball sampling*.

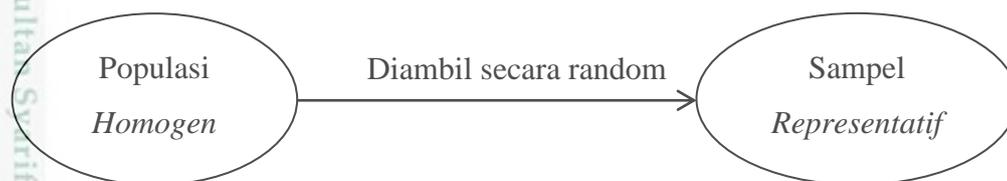
2.3.5.1. Probability Sampling

Probability sampling adalah teknik *sampling* yang memberikan peluang yang sama bagi setiap unsur (anggota) populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel dan jumlah 1 % saja sudah cukup mewakili. Teknik sampel ini meliputi:

A. Simple Random Sampling

Simple random sampling (sederhana) karena pengambilan sampel anggota populasi dilakukan secara acak tanpa memperhatikan strata yang ada dalam populasi itu [37]. Penelitian lain menyatakan bahwa *simple random sampling* adalah teknik untuk mendapatkan sampel yang langsung dilakukan pada unit *sampling*. Dengan demikian setiap unit *sampling* sebagai unsur populasi yang terpicil memperoleh peluang yang sama untuk menjadi sampel atau untuk mewakili populasi. Cara demikian dilakukan bila anggota populasi dianggap homogen. Teknik ini dapat dipergunakan bilamana jumlah unit *sampling* di dalam suatu populasi tidak terlalu besar. Misal, populasi terdiri dari 500 orang mahasiswa program S1 (unit tampling). Untuk memperoleh sampel sebanyak 150 orang dari populasi tersebut, digunakan teknik ini, baik dengan cara undian, ordinal, maupun tabel bilangan random. Dengan teknik ini pengambilan data dilakukan secara acak tanpa memperhatikan strata yang ada dalam suatu populasi karena populasi dianggap homogen, dan jumlah sampel 1% saja sudah cukup mewakili [37].

Teknik ini dapat digambarkan di bawah ini [38].



Skema 2.2 *Simple Random Sampling*.

B. Proportional Stratified Random Sampling.

Penelitian menyatakan bahwa *stratified random sampling* biasa digunakan pada populasi yang mempunyai susunan bertingkat atau berlapis-lapis. Teknik ini digunakan bila populasi mempunyai anggota/unsur yang tidak homogen. Dan berstrata secara proporsional. Suatu organisasi yang mempunyai pegawai dari berbagai latar belakang pendidikan, maka populasi pegawai itu berstrata. Misalnya jumlah pegawai yang lulus S1 = 45, S2 = 30, STM = 800, ST = 900, SMEA = 400, SD = 300. Jumlah sampel yang harus diambil meliputi strata pendidikan tersebut yang diambil secara proporsional jumlah sampel [37].

C. Disproportionate Stratified Random Sampling

Teknik ini digunakan untuk menentukan jumlah sampel bila populasinya berstrata tetapi kurang proporsional.

D. Cluste Sampling (Area Sampling)

Cluster sampling adalah teknik memilih sebuah sampel dari kelompok kelompok unit yang kecil. Sesuai dengna namanya, penarikan sampel ini didasarkan pada gugus atau *cluster*. Teknik *xluster sampling* digunakan jika catatan lengkap tentang semua anggota populasi tidak diperoleh serta keterbatasan biaya dan populasi geografis elemen-elemen populasi berjauhan. Metode *One Stage Cluster Sampling* membagi populasi menjadi kelompok atau *cluster*.

Beberapa kluster kemudian dipilih secara acak sebagai wakil dari populasi, kemudian seluruh element dalam *cluster* terpilih dijadikan sebagai sampel penelitian. Sedangkan metode *Two Stage Cluster Sampling* merupakan pengembangan dari metode pertama, memilih elemen dari tiap kluster terpilih secara acak. Penggunaan metode kluster sampling lebih ditekankan pada keterbatasan biaya dan letak geografis populasi yang alternatif penarikan sampel yang mungkin dilakukan.

Rancangan *sampling* yang efisiensi adalah rancangan *sampling* yang dapat menghemat waktu, tenaga tanpa mengurangi keakuratan dat dan informasi yang diperoleh benar benar menggambarkan karakteristik populasi dengan baik. Tujuan utama dilakukannya suatu sampling adalah untuk memperoleh data observasi yang berisi informasi mengenai karakteristik populasi yang akan di teliti.

Teknik ini digunakan bilamana populasi tidak terdiri dari individu individu, melainkan terdiri dari kelompok individu atau *cluster*. Teknik sampling daerah digunakan untuk menentukan sampel bila objek yang akan diteliti atau sumber data sangat luas [38].

2.3.5.2 Non Probability Sampling

Non Probability sampling adalah teknik yang tidak memberi peluang/kesempatan yang sama bagi setiap unsur atau anggota populasi untuk dipilih menjadi sampel [37]. Teknik sampel ini meliputi:

a. *Sampling Sistematis*

Sampling sistematis adalah teknik penentuan sampel berdasarkan urutan dari anggota populasi yang telah diberi nomor urut. [37].

b. *Sampling Kuota*

Sampling kuota adalah teknik untuk menentukan sampel dari populasi yang mempunyai ciri-ciri tertentu sampai jumlah (kuota) yang diinginkan [37]. Menurut Margono dalam teknik ini jumlah populasi tidak diperhitungkan akan tetapi diklasifikasikan dalam beberapa kelompok. Sampel diambil dengan memberikan jatah atau quorum tertentu terhadap kelompok. Pengumpulan data dilakukan langsung pada unit sampling. Setelah jatah terpenuhi, pengumpulan data dihentikan [38].

c. *Sampling Aksidental*

Sampling aksidental adalah teknik penentuan sampel berdasarkan kebetulan, yaitu siapa saja yang secara kebetulan bertemu dengan peneliti dapat digunakan sebagai sampel, bila dipandang orang yang kebetulan ditemui itu cocok sebagai sumber data. Dalam teknik ini pengambilan sampel tidak ditetapkan lebih dahulu. Peneliti langsung mengumpulkan data dari unit sampling yang ditemui. [38].

d. *Sampling Purposive*

Sampling purposive adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Pemilihan sekelompok subjek dalam *purposive sampling*, didasarkan atas ciri-ciri tertentu yang dipandang mempunyai sangkut paut yang erat dengan ciri-ciri populasi yang sudah diketahui sebelumnya. Dengan kata lain unit sampel yang dihubungi disesuaikan dengan kriteria-kriteria tertentu yang diterapkan berdasarkan tujuan penelitian [38].

e. *Sampling Jenuh*

Sampling jenuh adalah teknik penentuan sampel bila semua anggota populasi digunakan sebagai sampel. Hal ini sering dilakukan bila jumlah populasi relatif kecil,

kurang dari 30 orang. Istilah lain sampel jenuh adalah sensus, dimana semua anggota populasi dijadikan sampel [37].

f. Snowball Sampling

Snowball sampling adalah teknik penentuan sampel yang mula-mula jumlahnya kecil, kemudian sampel ini disuruh memilih teman-temannya untuk dijadikan sampel. Begitu seterusnya, sehingga jumlah sampel semakin banyak. Ibarat bola salju yang menggelinding, makin lama semakin besar. Pada penelitian kualitatif banyak menggunakan sampel purposive dan snowball. Menurut Margono penentuan sampel perlu memperhatikan sifat dan penyebaran populasi [38].

Untuk penarikan jumlah sampel, penulis menetapkan sebesar 5%, karena jika studi beban dilakukan dengan mendata semua kelompok pengguna (sensus) maka akan memerlukan waktu yang lama dan juga dana yang besar, sehingga dalam kasus ini diambil sebuah solusi yang efisien terhadap waktu dan dana yang terbatas. Solusi yang diambil dalam kasus ini mengacu pada teori yang dikemukakan oleh Prof. Dr. Sugiyono tentang pengambilan sampel menggunakan teknik *probability sampling*. Dalam teknik *probability sampling* terbagi beberapa teknik untuk menentukan jumlah sampel, dan yang penulis gunakan dalam penelitian ini adalah teknik *Cluster sampling*.

2.3.6. Potensi Energi Terbarukan

Dilihat dari letak geografis berdasarkan *Google Earth*[®], kawasan Desa Betumonga berada pada latitude -2,21 dan Longitude 99,57 Berdasarkan data dari NASA pada koordinat tersebut berpotensi menghasilkan energi surya rata-rata sebesar 4,56 kWh/m²/hari, dan potensi energi terbarukan lainnya yang dapat di manfaatkan di Desa Betumonga adalah potensi energi angin. Data dari NASA potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan dengan kecepatan angin rata rata 3,19 m/s di Desa Betumonga pada ketinggian 10 m. Dari data tersebut, potensi energi angin di Desa Betumonga bagus untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) karena kecepatan angin rata rata berada di atas nilai batas minimum kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga angin [11].

2.4 Remote Area Power System (RAPS)

Remote Area Power System (RAPS) merupakan sistem penyediaan listrik pada daerah yang terpencil ataupun terisolir (*isolate*). Pada sistem ini pembangkit listrik yang akan dibangun tidak tersambung ke jaringan listrik utama atau disebut juga sistem yang berdiri

sendiri (*Stand-Alone Power System/ SAPS*). Salah satu contoh sederhana sistem RAPS adalah penggunaan Genset berdiri sendiri sebagai pembangkit listrik di pedesaan terpencil, atau bisa menggunakan teknologi energi terbarukan *photovoltaic* (PV), turbin angin, micro/mini-hidro, dan lain sebagainya [25]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 merupakan salah satu sistem RAPS dengan sistem pembangkit listrik tenaga bayu terpusat.



Gambar 2.3. Sistem RAPS menggunakan teknologi *The Sky Dancer* [34].

Penggunaan pembangkit yang berdiri sendiri untuk desa terpencil memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan masing-masing, sebagai contoh, penggunaan Genset yang berdiri sendiri merupakan salah satu solusi masyarakat pedesaan terpencil karena selain kuat output daya yang dihasilkan juga besar. Namun dikarenakan penggunaan di daerah terpencil, sehingga kelangkaan dan harga bahan bakar menjadi masalah utama dalam penggunaan diesel . Untuk mengatasi masalah tersebut dibuat sebuah sistem Pembangkit listrik tenaga bayu yang dapat disimpan ke dalam baterai sehingga daya lebih bisa tersimpan ke baterai dan apabila terjadi kondisi dimana tidak ada angin maka daya listrik masih bisa digunakan karena ada yang tersimpan di dalam baterai [26].

2.5 Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik

Dalam perencanaan pembangkit listrik, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut [27].

1. Perkiraan Beban

Perkiraan beban merupakan hal yang perlu dilakukan dalam perencanaan pembangkit listrik dalam sistem interkoneksi maupun yang berdiri sendiri/ terisolir (*isolated*), yang meliputi analisis kebutuhan beban selama umur proyek (*lifetime*), termasuk memperkirakan beban puncak, beban harian, dan beban tahunan.

2. Perencanaan Teknis Pembangkit

Perencanaan teknis pembangkit yang meliputi pemilihan teknologi pembangkit yang akan digunakan, seperti pemilihan jenis Turbin yang akan digunakan atau pemilihan tipe bilah (*blade*) yang akan dikonversi energi angin secara langsung. Sebagai contoh, untuk pemilihan turbin yang melayani beban dasar yang membutuhkan suplai listrik kontinyu setiap hari, maka akan digunakan turbin yang tidak memiliki *cogging* sehingga tidak menghambat putaran turbin., sedangkan untuk Baterai yang digunakan hanya sebagai *back-up* dengan jam operasi hanya beberapa jam per hari.

3. Perencanaan Pengembangan

Pada tahap ini dilakukan perencanaan pengembangan awal dengan menentukan kapasitas produksi pembangkit yang akan dibangun, investasi dan biaya produksi energi listrik.

4. Perencanaan Pengoperasian

Pada tahap ini, dilakukan tahap perencanaan sistem pengoperasian. Untuk sistem pembangkit skala kecil yang berdiri sendiri, maka akan merencanakan manajemen sistem otomatis, manual maupun semi otomatis.

5. Perencanaan Lingkungan

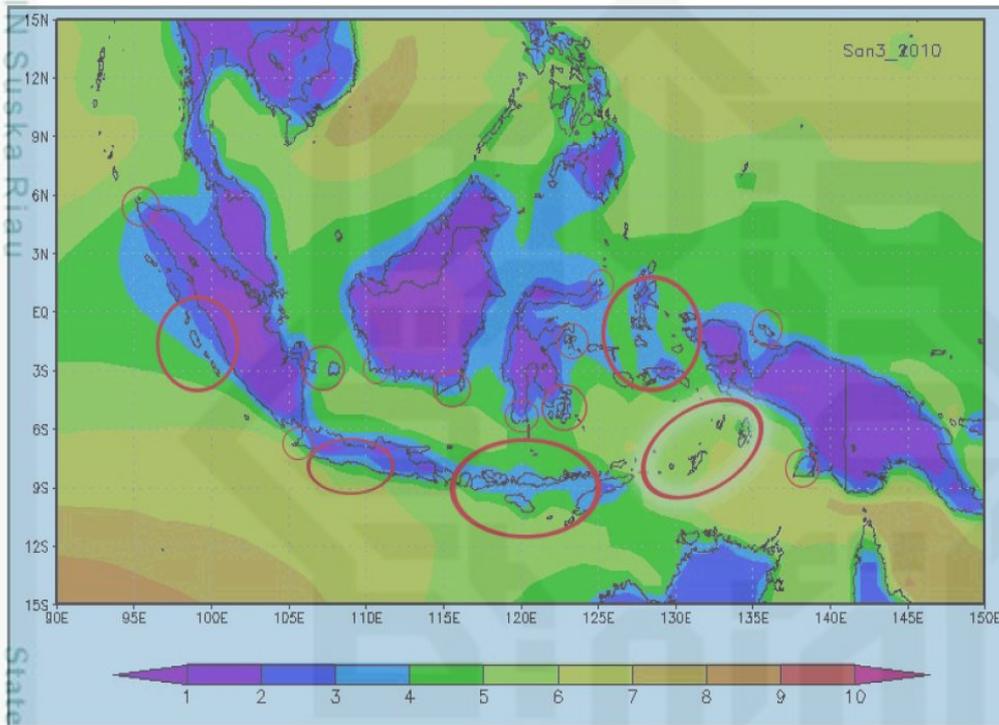
Memperhatikan lingkungan sekitar juga termasuk hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan pembangkit listrik, sehingga perencanaan lingkungan juga berhubungan dengan lokasi yang akan dipilih agar tidak mengganggu lingkungan sekitar. Dalam tahap ini juga akan dilakukan perencanaan dalam mengatasi limbah maupun polusi yang ditimbulkan pembangkit [27].

2.6 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai teknologi pembangkit tenaga bayu menyangkut kelebihan dan kekurangan dari pembangkit, juga membahas komponen-komponen yang digunakan dalam sistem PLTB [33].

2.6.1 Pengenalan Energi Angin

Energi angin merupakan bentuk energi yang penggerakannya berupa angin. Pada peta berikut ditunjukkan daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi angin berdasarkan data kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 10 m. Berdasarkan kriteria turbin angin seperti TSD-500 maka dibutuhkan angin berkecepatan minimal 3 m/s untuk mulai memproduksi. Dan daerah yang memiliki kecepatan rata-rata angin di atas 3 m/s banyak ditemui pada pesisir Selatan Jawa, Sumatera, dan pulau bagian timur [33].



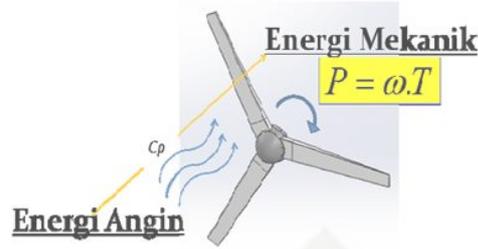
Gambar 2.4 Peta Angin di Indonesia [34]

2.6.2 Pengertian Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik. Energi angin (P_{wind}) ini sendiri merupakan hasil dari setengah kali massa jenis udara (ρ) dengan luas penampang cakupan dari turbin angin (A) dan pangkat tiga dari kecepatannya (V^3). Jadi, sedikit saja selisih kecepatannya, maka perbedaan energi yang dihasilkannya dapat berkali lipat besarnya.

Setiap sistem pasti memiliki suatu tingkat efisiensi kerja karena hampir tidak ada sistem yang mampu bekerja sempurna, seperti halnya turbin angin ini. Oleh karena itu, untuk mendapatkan Energi Mekanik dari hasil turbin ini maka perlu diperhitungkan juga nilai efisiensi turbin (C_p). Energi Mekanik dari turbin ini berupa kecepatan putaran bilah

turbin (ω) dan torsinya, T , (besar gaya yang diberikan pada suatu panjang lengan beban/blade) [33].



Gambar 2.5 Skema aliran konversi energi angin menjadi energi mekanik turbin angin [34]

2.6.3 Jenis Turbin Angin

Turbin angin pada prinsipnya dapat dibedakan atas dua jenis turbin berdasarkan arah putarannya. Turbin angin yang berputar pada poros horisontal disebut dengan turbin angin poros *horizontal* atau *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*, sementara yang berputar pada poros vertikal disebut dengan turbin angin poros *vertikal* atau *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*.

A. Turbin HAWT

Turbin angin *horizontal* adalah model umum yang sering kita lihat pada turbin angin. Desainnya mirip dengan kincir angin, memiliki blade yang mirip *propeller* dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin horisontal memiliki *shaft rotor* dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan *winde plane* yang diletakkan di rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan blade sesuai dengan arah angin. Sebagian besar turbin yang besar memiliki *gearbox* yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat.

Karena tower menghasilkan *turbulensi* di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan. *Blade* turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, blade di tempatkan pada jarak yang mencukupi didepan *tower* dan kadang melengkung kedepan. *Downwind turbine* atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang *blade* dibolehkan untuk melengkung yang menurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan

turbulensi dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin horisonal menggunakan jenis *upwind*.

Kelebihan Turbin Angin Horisontal

- a. Tovernya yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar. Pada beberapa area, setiap 10 meter ada kenaikan tambahan kekuatan angin 20% dan peningkatan daya 34%.
- b. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran. Sebaliknya pada turbin *vertikal*, melibatkan gaya timbal balik yang membutuhkan permukaan airfoil untuk mundur melawan angin sebagian bagian dari siklus. *Backtracking* melawan angin menyebabkan efisiensi lebih rendah.

Kekurangan Turbin Angin Horisontal

- a. Dibutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mensupport beban *blade*, *gear box* dan *generator*.
- b. Komponen-komponen dari turbin angin horisontal (*blade*, *gear box* dan *generator*) harus diangkat ke posisinya pada saat pemasangan.
- c. Karena tinggi, maka turbin ini bisa terlihat pada jarak yang jauh, banyak penduduk lokal yang menolak adanya pemandangan ini.
- d. Membutuhkan kontrol ya sebagai mekanisme untuk mengarahkan blade ke arah angin.
- e. Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman atau peralatan yaw pada angin yang kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakan.

B. Turbin VAWT

Turbin angin *vertikal* memiliki *shaft rotor vertikal*. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tower tidak perlu support dan hal ini menyebabkan maintenance lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah menciptakan dorongan saat berputar.

Sangat sulit untuk memasang turbin angin di tower, sehingga jenis tower ini biasanya di install dekat dengan permukaan. Kecepatan angin lebih lambat pada altitude yang rendah, sehingga energi angin yang tersedia lebih rendah.

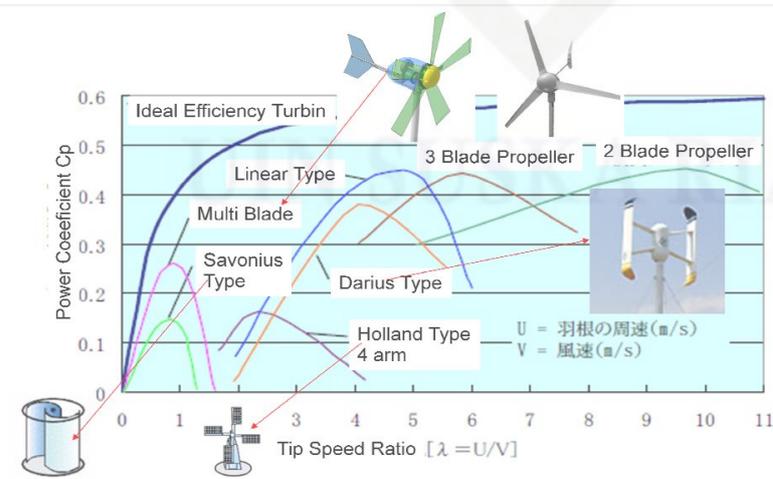
Kelebihan Turbin Vertikal :

- a) Tidak diperlukan mekanisme.
- b) Sebuah turbin angin bisa terletak dekat tanah, sehingga lebih mudah untuk menjaga bagian yang bergerak.
- c) turbin vertikal memiliki kecepatan startup angin rendah dibandingkan turbin *horizontal*
- d) turbin vertikal dapat dibangun di lokasi di mana struktur yang tinggi dilarang.

Kekurangan Turbin Vertikal:

- a) Kebanyakan turbin *vertikal* memiliki penurunan efisiensi dibanding turbin horisontal, terutama karena hambatan tambahan yang mereka miliki sebagai pisau mereka memutar ke angin. Versi yang mengurangi drag menghasilkan lebih banyak energi, terutama yang menyalurkan angin ke daerah kolektor.
- b) Memiliki rotor terletak dekat dengan tanah di mana kecepatan angin lebih rendah dan tidak mengambil keuntungan dari kecepatan angin tinggi di atas.
- c) Karena tidak umum digunakan terutama karena kerugian serius yang disebutkan di atas, mereka muncul baru untuk mereka yang tidak akrab dengan industri angin. Hal ini sering membuat mereka subjek klaim liar dan penipuan investasi selama 50 tahun terakhir.

2.6.4 Tipe Turbin Angin

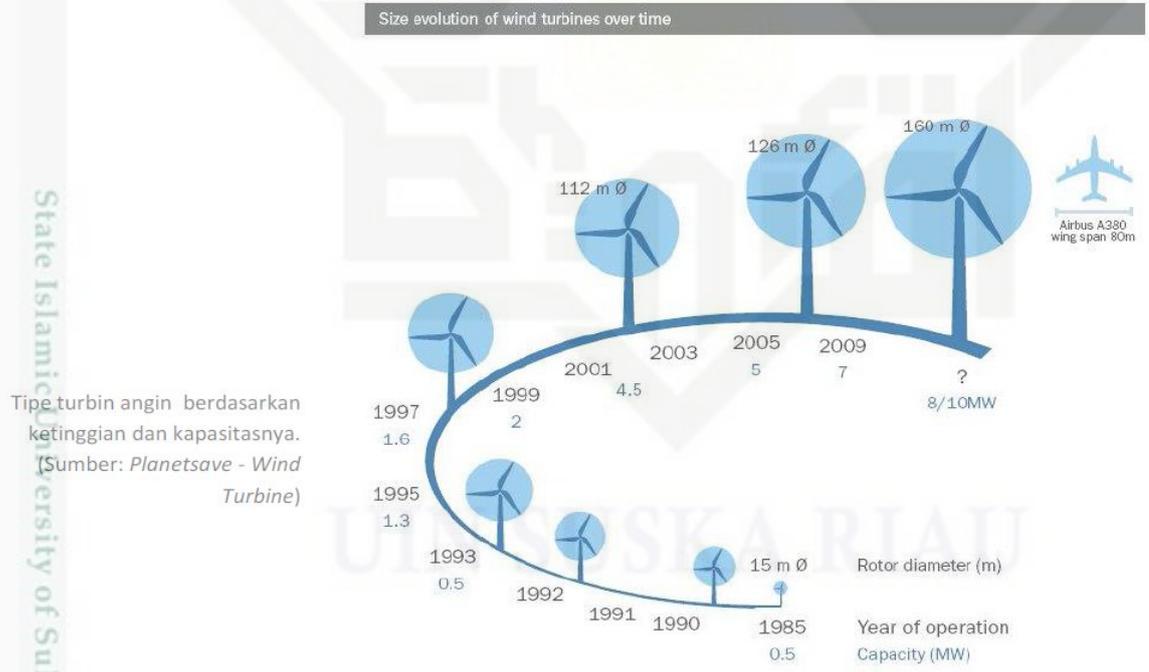


Gambar 2.6 Efisiensi turbin angin berdasarkan tipenya [34]

Adapun beberapa tipe turbin angin yang ada di dunia berdasarkan tingkat efisiensinya diantara lain:

- 1) Tipe *Holland* (Belanda)
- 2) Tipe *Savonius*
- 3) Tipe *Darius*
- 4) Tipe *Linear*
- 5) Tipe *2 blade propeller*
- 6) Tipe *3 blade propeller*
- 7) Tipe *multi blade*

Semakin tinggi efisiensi suatu turbin, semakin maksimal pula turbin tersebut mengkonversi energi yang didapatnya. Tipe turbin yang memiliki tingkat efisiensi paling tinggi adalah tipe 3 blade propeller (C_p mendekati 45 dan *holland* efisiensinya yang terendah. Tipe 2 dan 3 *blade propeller* saat ini banyak dijumpai pada produk-produk komersil.



Gambar 2.7 Perkembangan Turbin Angin Sampai Sekarang [34]

Pemanfaatan turbin angin terbagi ke dalam beberapa skala ketinggian dan kapasitasnya, yaitu skala besar menengah, kecil, dan mikro. Semakin besar skalanya, semakin besar pula kapasitas yang mampu dihasilkan suatu turbin angin.

Hak cipta milik UIN Suska Riau
 Hal-hal yang Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.8 Turbin Angin yang sedang berkembang pada saat ini [34].



Gambar 2.9 Produk turbin angin skala mikro saat ini. (kapasitas 500 W sampai 1 KW [34].

Dalam pemilihan tipe *blade* yang perlu diperhatikan adalah C_p dan *Tip Speed Ratio* (*TSR*) C_p adalah tingkat efisiensi dari blade, semakin besar efisiensinya maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengambil energi yang didapatnya (konversi energi). *TSR* merupakan perbandingan kecepatan ujung blade terhadap angin, maka semakin besar *TSR* akan semakin besar putarannya. Dari berbagai tipe turbin angin, tipe 3 *blade propeller* paling mendekati nilai efisiensi ideal (koefisiennya mencapai 40%) dan juga bias digunakan untuk putaran tinggi. Pada perkembangannya saat ini, produk komersil lebih banyak mengembangkan tipe 2 dan 3 *blade Propeller*

Dalam pemilihan dan pengembangan suatu system selain dari segi kualitas, hal yang perlu diutamakan lainnya adalah biaya produksi dan instalasi dari sistem tersebut harus disesuaikan dengan kondisi pasar sistem tersebut nantinya, serta bagaimana penyampaian terhadap penggunaanya [33].

Beberapa alasan skala mikro ini lebih cocok diterapkan di Indonesia, yaitu:

- a) Secara ekonomis, harga dan biaya operasional yang rendah.
- b) Teknologi yang lebih mudah dikuasai dan dikembangkan.
- c) Pada prakteknya, pengelolaan di daerah terpencil lebih mudah dilakukan
- d) Secara sosial, lebih mudah diterima masyarakat.
- e) Dampak dan beban terhadap lingkungan yang kecil.

2.6.5 *The Sky Dancer*

Bagian utama dari turbin angin berupa *generator, blade, cone, fin*, dan ekor. TSD-500 ini merupakan turbin angin horizontal dengan *3 blade propeller* yang memiliki tingkat efisiensi 40%. Turbin ini mulai berputar pada kecepatan angin 2.5 m/s dan mulai memproduksi listrik pada kecepatan angin 3 m/s. Daya maksimal yang mampu dihasilkan oleh turbin adalah 500 *Wattpeak (Wp)* pada kecepatan angin 12 m/s dan di atasnya.

Turbin ini dapat bertahan sampai pada kecepatan angin 33 m/s *Blade* turbin menggunakan bahan kayu pinus. Selain kualitasnya yang ringan dan kuat, bahan ini mudah ditemui di Indonesia (untuk pengembangan produksi lokal) dan juga harganya yang relatif terjangkau dibandingkan dengan bahan lainnya. Turbin angin TSD-500 dipasang pada ketinggian 4 hingga 6 meter di atas permukaan tanah. Inilah yang membuat proses instalasi turbin mudah dipelajari dan lebih aman [34].

2.6.6 Teknologi *Cogging-less*

Perbedaan mendasar antara *The Sky Dancer* dengan turbin angin lainnya terletak pada generatornya. Tipe generator 3 fasa magnet permanen yang digunakan pada turbin ini memiliki teknologi *cogging-less*. *Cogging* merupakan suatu hentakan (torsi yang berlawanan dengan arah putar turbin) saat memutar rotor yang mengakibatkan rotor sulit sekali diputar dengan tangan dan hal ini mengurangi efisien kerja turbin menimbulkan getaran dan bunyi yang mengganggu.

Seandainya angin dalam kecepatan rendah maka turbin akan sangat sulit berputar. *Cogging* terjadi karena adanya perbedaan permeabilitas antara magnet dengan material non magnet. Dengan adanya teknologi *cogging less* ini maka rotor dapat diputar tanpa

hambatan (sangat mulus) (dengan tangan sekalipun!) dan turbin angin ini mampu berputar pada kecepatan angin rendah [34].

2.6.7 Teknologi *Furling*

Teknologi lainnya yang berperan dalam TSD – 500 ini adalah teknologi *furling*. Teknologi ini dimaksudkan sebagai sistem pengamanan generator dan baterai. Bila baterai dalam kondisi penuh, maka turbin angin akan secara otomatis mengerem/berhenti berputar dengan cara menghindar dari arah datangnya angin. Ekor turbin seakan menari untuk mengarahkan badan turbin menghindari dari arah datangnya angin dan turbin pun berhenti berputar. Dan bila baterai sudah bisa diisi kembali maka ekor turbin akan mengarahkan kembali badannya ke arah angin. Oleh karena itulah, turbin ini memiliki nama *The Sky Dancer* (Sang Penari Langit)

2.7 Komponen-Komponen Sistem Turbin Angin

2.7.1 Komponen Utama

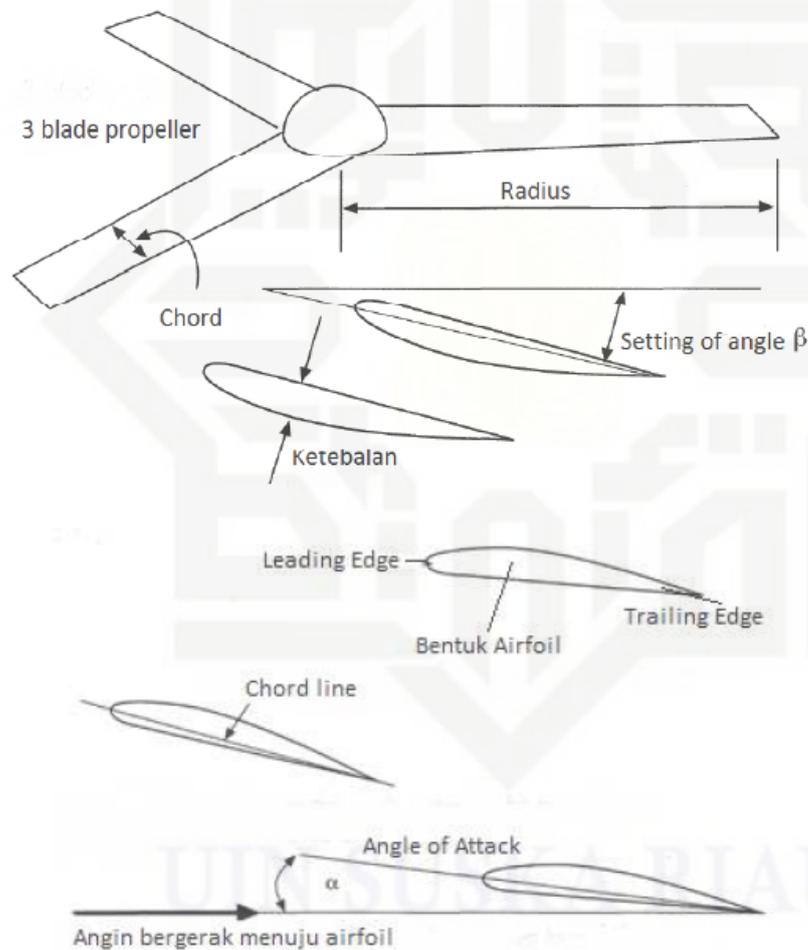
a. *Blade*

Blade merupakan bagian penting dalam suatu sistem turbin angin sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan angin. Secara umum terdiri dari 2 tipe yaitu *horizontal axis wind turbine* (HAWT) dan *vertical axis wind turbine* (VAWT). Kedua tipe ini dapat disesuaikan dengan orang yang ingin mengimplementasikannya dan kemampuannya dalam mewujudkan.

Untuk tipe vertikal pembuatannya jauh lebih sulit dibandingkan horizontal dan tergantung pada keterampilan pembuatnya. *The Sky Dancer* merupakan turbin angin tipe HAWT dengan 3 blade propeller yang memiliki nilai C_p 40%, yang berarti mampu mengambil 40% dari total energi angin yang diterimanya (energi per luas sapuan blade) menjadi energi mekanik.

Dalam pemilihan tipe blade yang perlu diperhatikan adalah C_p dan Tip Speed Ratio (TSR). C_p adalah tingkat efisiensi dari blade, semakin besar efisiensinya maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengambil energi yang didapatnya (konversi energi). TSR merupakan perbandingan kecepatan ujung blade terhadap angin, maka semakin besar TSR akan semakin besar putarannya. Dari berbagai tipe turbin angin, tipe 3 blade propeller paling mendekati nilai efisien (koefisiennya mencapai 40%) dan juga bisa digunakan untuk putaran tinggi. Pada perkembangannya saat ini, produk komersil lebih banyak mengembangkan tipe 2 dan 3 *blade propeller*.

Untuk ukuran angin yang tidak terlalu kencang penambahan jumlah blade merupakan solusi yang dapat dilakukan supaya turbin angin dapat menangkap daya angin secara maksimal. Sebaliknya apabila kecepatan angin di suatu daerah memiliki kecepatan yang tinggi maka pengurangan blade menjadi solusinya karena apabila angin di kecepatan tinggi memakai jumlah blade yang banyak maka turbin angin tersebut memiliki sifat yang sama seperti dinding apabila di terpa oleh angin. Pemilihan jumlah blade yang sesuai dengan kondisi di asia tengah yaitu memakai jumlah blade 3, dimana kecepatan angina rata rata di asia bisa di kategorikan kepada angina sedang [34].



Gambar 2.10 Bagian Blade [34]

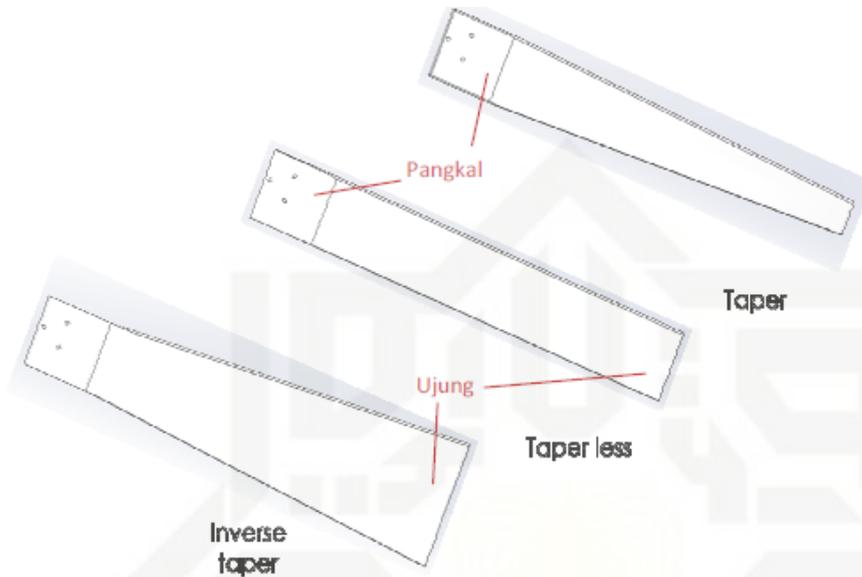
Blade terdiri dari beberapa bagian, seperti

- a. Radius (jari-jari blade)
- b. *Chord* (lebar blade)
- c. *Leading edge*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- d. *Trailing edge*
- e. *Chord line* (garis yang menghubungkan leading dan trailing edge)
- f. *Setting of angle (pitch)*, sudut antara *chord line* dan bidang rotasi dari rotor)
- g. *Angle of attack* (sudut antara *chord line* dengan arah gerak udara relatif).



Gambar 2.11 Tipe Tipe *Blade* [34].

Blade memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, yaitu, *taper* (mengecil ujungnya), *taperless* (pangkal dan ujungnya memiliki lebar yang sama), dan *inverse-taper* (membesar ke ujungnya). Ketiga *blade* ini memiliki kapasitasnya masing-masing, seperti *blade taper* cocok untuk angin berkecepatan tinggi, sementara *inverse-taper* cocok untuk kecepatan angin rendah (putaran rendah, torsi tinggi) dan *blade taper-less* di antara keduanya.

a. Perancangan *Blade*

Dalam merancang suatu *blade* ada beberapa aspek yang perlu dipahami, yaitu:

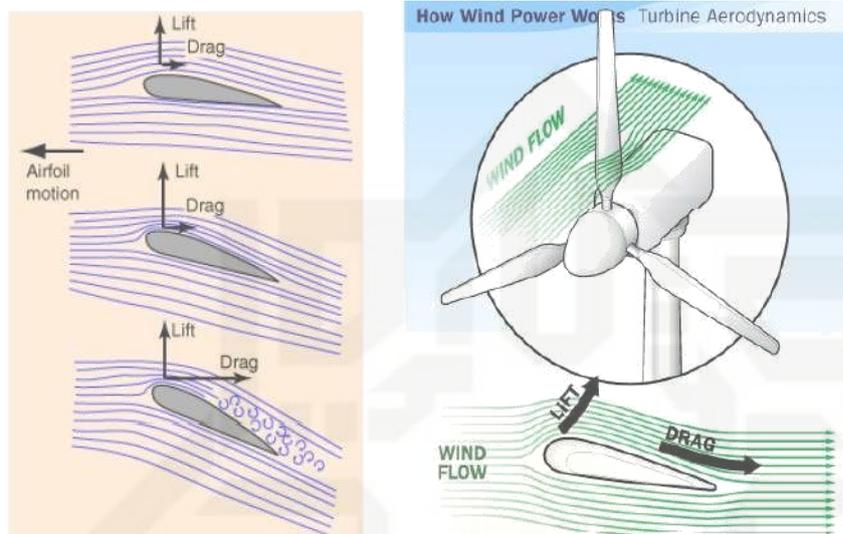
1. Mekanika Fluida
2. Aerodinamika
3. Material

Dengan memahami mekanika fluida dan aerodinamika maka terdapat beberapa parameter dalam merancang suatu *blade*, seperti:

1. *Tip Speed Ratio (TSR)*, seberapa kali lebih cepat antara kecepatan angin dan putaran pada ujung *blade*. Semakin besar nilai *TSR* maka semakin cepat juga

putaran ujung blade.

2. *Airfoil*, bentuk desain ujung blade berdasarkan gaya angkat dan dorong (*lift and drag forces*) blade terhadap aliran udara yang melewatinya. Saat ini ada beraneka ragam desain *airfoil* dan pada TSD-500 digunakan model Clark Y untuk airfoalnya



Gambar 2.12 Aliran Udara Melewati *Airfoil* [34]

3. *Twist*, sudut puntir (β) pada blade antara chord line dengan bidang rotasi rotor
4. *Angel of attack* (α), sudut antara gerak aliran udara dengan chord line. Rasio α yang paling baik dan umumnya digunakan adalah 4° .
5. *Power Coefficient* (C_p), Kemampuan *blade* untuk menyerap energi angin yang diterimanya. Dari semua energi angin yang diterima, hanya sekitar 50% yang dapat diekstrak (*Teorema Betz*)
6. Panjang *blade*, untuk menentukan seberapa banyak energi angin yang dapat diperoleh berdasarkan luas area sapuan *blade*.

Ada beberapa bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan *blade*, seperti:

- a. *Fibber*
- b. Logam (besi, aluminium, dll)
- c. Kayu
- d. *Styrofoam*, dll.

Pemilihan material harus seimbang dan tepat guna berdasarkan kualitas, harga, dan penyampaiannya kepada pengguna (QCD). Turbin angin TSD-500 menggunakan bahan kayu pinus karena bahannya yang ringan, kuat, murah, dan

bahannya yang mudah ditemui di Indonesia . Bahan lain yang lebih baik yaitu dengan *styrofoam* karena bahan ini ringan, mudah dibentuk, murah, dan tidak berbahaya.

Blade juga harus diuji dari segi ketahanan terhadap lingkungan, baik itu terhadap badai ataupun pada kecepatan angin tertentu. Kemungkinan yang harus diperhatikan seperti patah blade, cacat akibat bertabrakan dengan butiran pasir, debu, ataupun material lainnya karena kecepatan tinggi dan juga dapat mempengaruhi berat blade bila ada retakan (kemungkinan air/fluida lainnya menyerap), serta kemungkinan blade dapat melengkung. Dan hal lainnya yang harus diperhatikan adalah dari segi keamanan baik dalam proses pemasangan ataupun setelah dipasang.

b. Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah Energi Mekanik menjadi Energi Listrik. Energi Mekanik tersebut dapat berupa turbin angin, turbin air dan turbin uap. Dari turbin tersebut, dapat memutar poros generator dimana yang bisa menghasilkan energi listrik dari kumparan yang ada di dalam generator itu sendiri. Pada awalnya generator masih menggunakan prinsip listrik *elektrostatik*, yaitu tegangan yang dihasilkan tinggi dan arus rendah ketika di putar. Pengoperasian generator tersebut masih menggunakan sabuk, lempengan dan disk. Sebagai contoh generator *Van de Graaff* dan Mesin *Wimshurt* Tahun 1827, Anyos Jedlik seorang pemuda Hungaris melakukan percobaan dengan menggunakan alat rotasi elektromagnetik.

Pada saat itu Anyos menamai mesin hasil ciptaannya dengan nama “*electromagnetic self-rotors*”, atau lebih dikenal dengan nama “Dinamo Jedlik”. Sebenarnya dia membuat konsep dynamo 6 tahun sebelum Siemens dan Wheatstone, tetapi dia tidak mematenkannya karena dia berpikir sudah ada orang lain yang berhasil menemukan ciptaanya. Tahun 1831-1832, Michael Faraday melakukan percobaan dan menemukan adanya efek khusus yang dihasilkan dari ujung-ujung konduktor listrik yang bergerak lurus terhadap medan magnet.

Dari efek ini, dia berhasil menjadi orang pertama yang membuat generator elektromagnetik. Generator elektromagnetik dibuat dengan menggunakan cakram tembaga yang berputar di antara kutub magnet tapal kuda dan menghasilkan arus

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

searah yang kecil. Rancangan cakram Michael Faraday ini di sebut “Cakram Faraday”, dan cakram tersebut kurang efisien. Hal ini disebabkan karena masih ada arus listrik berlawanan di bagian cakram yang masih belum terpengaruh oleh medan magnet dimana arus ini dapat membatasi tenaga yang dialirkan ke kawat penghantar. Desain generator yang selanjutnya lebih efisien, karena masalah arus listrik yang berlawanan tadi bisa diatasi dengan menempatkan magnet-magnet kecil di sekeliling mengitari cakram tembaga. Tetapi generator ini masih memiliki kelemahan dimana tegangan yang dihasilkan masih kecil karena menggunakan jalur tunggal fluks magnet. Generator tersebut dinamakan Generator Homopolar. Generator-generator tersebut masih menghasilkan tegangan dan arus listrik skala kecil, maka diadakan penelitian oleh Hippolyte Pixii yang berwarga negara Prancis pada tahun 1832.

Dinamo atau nama lain adalah generator, yang pertama kali dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri skala besar. Generator ini menggunakan magnet permanen yang diputar oleh *crank*. Magnet yang dibuat sedemikian rupa ini dapat bergerak dan apabila bergerak kutub utara dan selatan dapat melewati kumparan tembaga.

Perkembangan zaman yang semakin maju pada saat ini, telah ditemukan generator baru dengan type “*3 phase permanent magnet with Cogging-less Tecnology*”, salah satu anak bangsa yang mendedikasikan dirinya untuk perkembangan kincir angin di Indonesia sendiri. Generator tersebut telah disempurnakan dengan meminimalisasi hentakan arus berlawanan yg terjadi pada rotor generator saat berputar, sehingga dengan kecepatan angin yang rendahpun sudah dapat memutar generator ini.

Ilmu-ilmu yang terkait dalam perancangan generator, diantara lain:

1. Prinsip Konversi Energi
 - a. *Elektromagnetik*
 - b. *Electric machinery*
2. Prinsip Torsi dan Rotasi
 - a. Mekanika
3. Material
 - a. Jenis Magnet yang digunakan

- b. Material konduktor untuk Core
- c. Material isolator untuk lapisan luar

Perancangan generator harus disesuaikan dengan karakter titik putaran blade sehingga proses konversi energi mekanik menjadi energi listriknya memiliki efisiensi yang tinggi [34].

2.7.2 Komponen Pendukung

- a. Fin



Gambar 2.13 Bagian ekor penari langit [34].

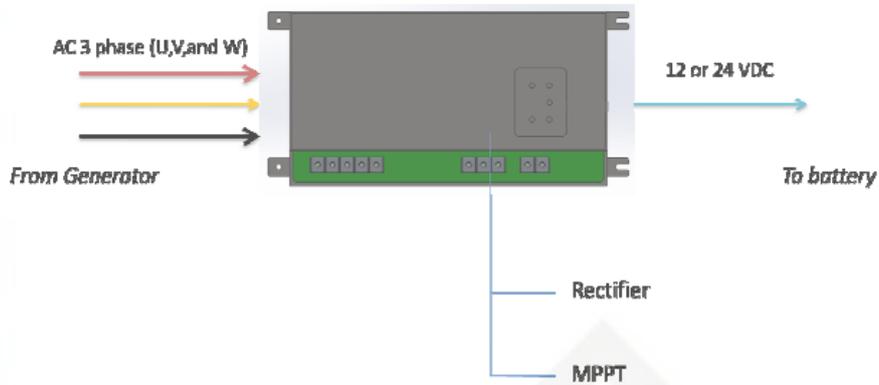
Ekor turbin angin berfungsi mengarahkan turbin angin menghadap arah angin. Ukuran ekor perlu disesuaikan dengan turbin angin sehingga mampu mendorong badan turbin ke arah angin. Sang Penari Langit memiliki sirip ekor yang terbuat dari bahan fiber dan batang ekornya terbuat dari besi.

- b. *Controller*

Controller berperan sebagai alat konversi energi listrik dari AC menjadi DC dan pengatur sistem tegangan masukan yang fluktuatif dari generator untuk distabilkan sebelum disimpan ke baterai

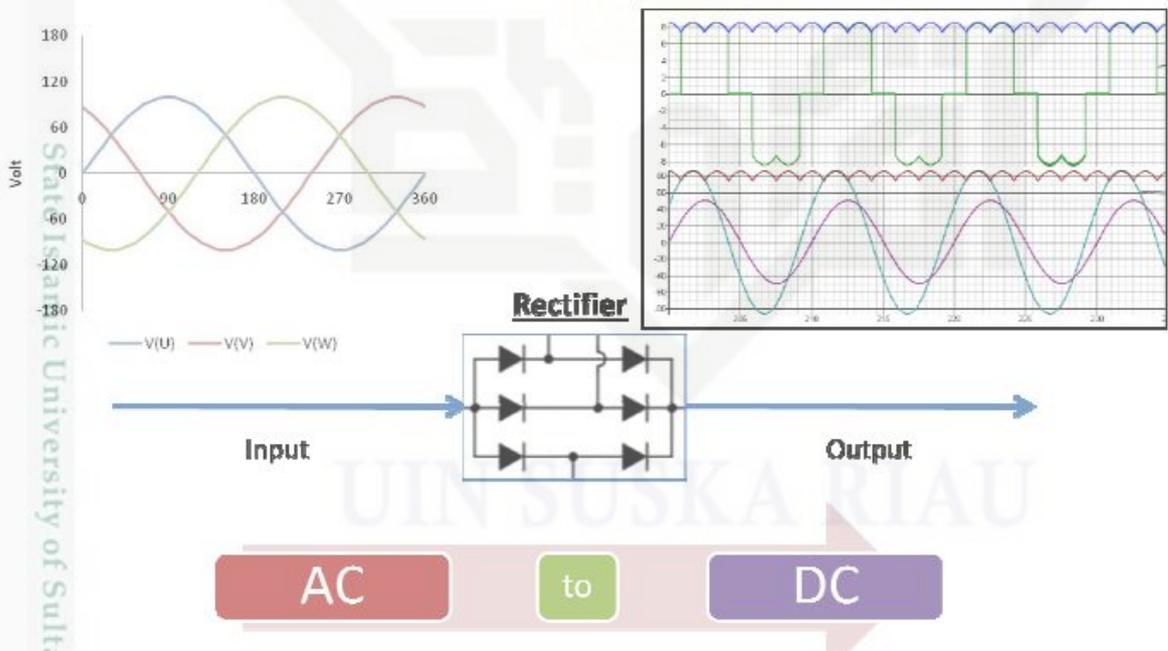
Beberapa aspek yang harus dipahami untuk merancang controller, seperti:

1. Elektronika
2. *Control Otomatic*
3. *Power electronic*, bagaimana menggunakan semikonduktor
Programming



Gambar 2.14 Controller [34].

Maximum power point tracker (MPPT) adalah suatu rangkaian DC yang mengoptimasikan keluaran daya dari generator sebelum dialirkan untuk disimpan ke baterai. Regulator tegangan (*Cut off* tegangan maksimal 130 V) melindungi komponen-komponen yang ada di dalam *controller* dari aliran arus tinggi. *Controller* dapat secara otomatis menghentikan pengecasan saat baterai penuh



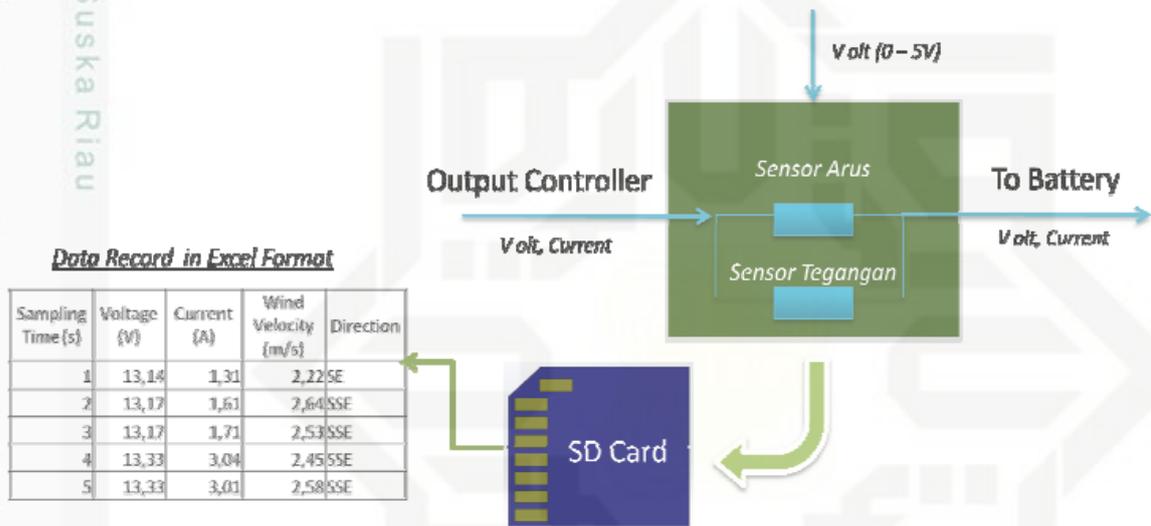
Gambar 2.15 Controller Rectifier [34]

Pada controller, *rectifier* berperan dalam mengkonversi tegangan AC menjadi DC sehingga sesuai dengan media penyimpanan listrik, yaitu baterai DC. Hasil dari *rectifier* ini kemudian diolah oleh sistem MPPT dengan bantuan

Transformer dan Mosfet yang mengkonversi DC power untuk dipecah-pecahkan menjadi tegangan DC yang lebih kecil dan arus yang disesuaikan sehingga cocok dengan kapasitas baterai.

Misalnya saja, tegangan dan arus AC dari sumber awalnya bernilai 160 V dan 3 A ($P=V.I$, maka nilai Powernya 480 W) dialirkan ke controller untuk dikonversi menjadi listrik DC yang sesuai dengan kapasitas baterai, maka tegangan dan arusnya menjadi 24 V dan 20 A ($P=480$ W).

c. *Data Logger*



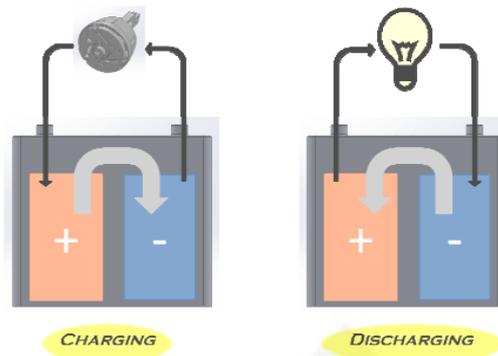
Gambar 2.16 *Data Logger* [34]

Data logger (DL) berperan sebagai media penyimpanan data, tegangan dan arus dari controller akan melewati DL untuk direkam setelah itu tegangan dan arus ini kembali dialirkan kembali menuju baterai. Rekaman data disimpan di dalam SD Card dalam format excel seperti waktu perekaman data dalam detik, tegangan, arus, kecepatan, dan arah angin. Keilmuan terkait mengenai data logger ini, diantara lain sensor, *PIC programming*, *sistem digital*, dan *elektronika*.

d. *Baterai*

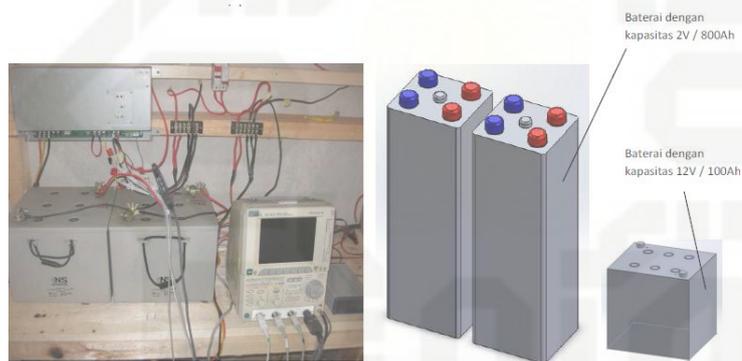
Baterai berperan sebagai media penyimpanan energi listrik. Pada baterai terjadi reaksi elektrokimia charging dan discharging. Proses *charging* ini bekerja saat baterai berfungsi sebagai beban dan sumber energinya dari generator, sementara itu proses *discharging* adalah ketika baterai menjadi sumber energi untuk pengisian beban lainnya (misalkan lampu)

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.17 Baterai [34].

Pada sistem TSD-500, baterai yang digunakan adalah baterai jenis *deep cycle gel* dan terdapat 2 macam, yaitu baterai dengan kapasitas 12V / 100Ah dan 2V / 800Ah. Hal ini ditujukan berdasarkan kebutuhan penggunaannya.



Gambar 2.18 bentuk baterai di PT Lentera Angin Nusantara [34].

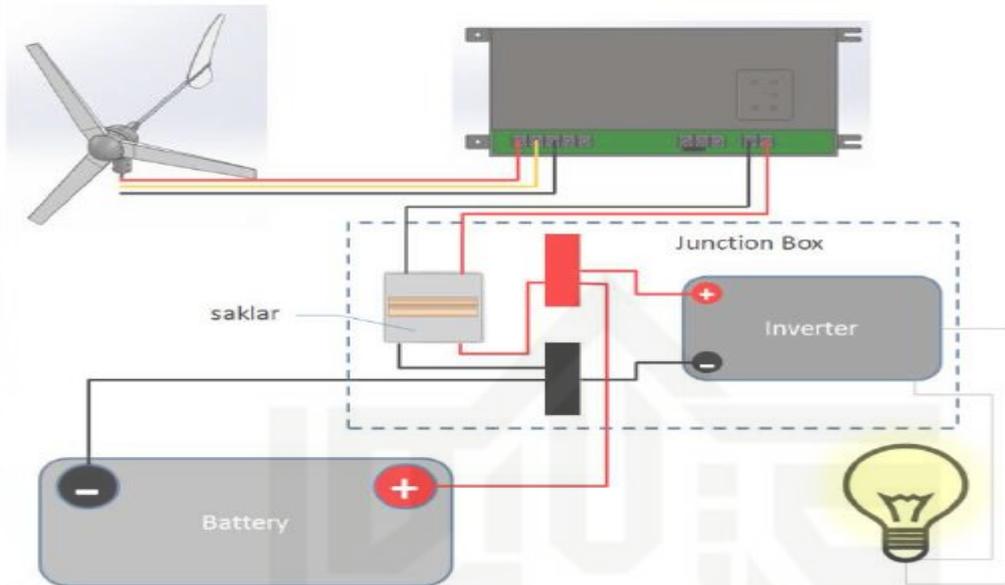
e. *Inverter*



Gambar 2.19 *Inverter* [34]

Inverter berfungsi sebagai alat kon versi listrik DC dari baterai (12/24 V) menjadi listrik A C (220 V) sehingga bisa digunakan untuk peralatan listrik A C, seperti peralatan rumah tangga sehari-hari yaitu lampu, televisi, kulkas, dll [34].

2.8 Konfigurasi dan Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu



Gambar 2.20 Skema sistem turbin angin [34].

Putaran blade membuat generator berputar dan menghasilkan tegangan AC 3 fasa yang mewakili vektor arah angin, yaitu u , v , dan w . Kemudian dialirkan menuju *controller* (*teknologi* pengamanan dan konversi energi) dan hasil keluaran dari controller ini berupa tegangan DC (telah dikonversi dari AC menjadi DC karena media penyimpanan energi dalam bentuk DC).

Setelah itu, dialirkan kembali menuju data logger untuk dilakukan perekaman data dan selanjutnya disimpan ke dalam baterai/aki. Sebelum digunakan ke beban (peralatan listrik AC), energy yang telah disimpan ini harus dikonversi terlebih dahulu melalui inverter (tegangan DC menjadi AC) [34].

2.8.1 Penentuan Kapasitas Komponen

Sebuah desain hemat biaya dari sistem pembangkit listrik tenaga bayu harus tepat sesuai dengan kapasitas produksi dan permintaan lokal. Kelebihan kapasitas (*over sizing*) akan mengakibatkan pemborosan biaya. Misalnya, kelebihan kapasitas untuk pembangkit akan meningkatkan biaya investasi, menghasilkan produksi listrik yang tidak dapat digunakan. Untuk Genset, kelebihan kapasitas dapat memiliki efek negatif pada usia pakai turbin angin sendiri. Pemilihan baterai yang melebihi kapasitas juga meningkatkan biaya modal. Namun, Pemilihan dibawah kapasitas (*under sizing*) terhadap permintaan beban dapat mengakibatkan ketidakpuasan pelanggan sehingga dapat menyebabkan kegagalan

proyek. Kekurangan kapasitas juga dapat mengakibatkan dampak pada komponen, sehingga menurunkan usia komponen. Dari masalah tersebut akan berdampak pada biaya produksi energi (*levelized cost of energi/LCOE*), sehingga perlu pemilihan kapasitas yang efektif [28].

2.8.2. Kebutuhan Beban

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga bayu perkiraan permintaan beban yang tepat sangat dibutuhkan. Perkiraan permintaan beban secara sederhana bisa dilakukan dengan mengalikan jumlah pengguna dengan rata-rata estimasi penggunaan listrik per pengguna. Namun, pendekatan ini tidak benar-benar cukup karena memiliki tingkat akurasi yang rendah untuk pedesaan yang besar. Sebaliknya, lebih baik untuk menggabungkan estimasi permintaan listrik masing-masing calon pengguna, seperti rumah tangga, bangunan sosial, dan layanan ekonomi [28]

Memperkirakan permintaan listrik membutuhkan usaha yang intensif ketika observasi langsung kelapangan dari pintu ke pintu (*door to door*). Dua faktor penting dalam perencanaan listrik pedesaan, yaitu kesediaan pengguna untuk terhubung ke akses listrik yang akan dibangun dan konsumsi peralatan listrik yang akan digunakan ketika terhubung ke akses listrik [28]

Masalah kemungkinan terjadinya kelebihan permintaan beban harus diperhitungkan langsung dari tahap perencanaan awal. Permintaan cenderung tumbuh setelah tahun pertama penyediaan listrik, karena beberapa alasan. *Pertama*, peningkatan taraf hidup dan ekonomi lokal memungkinkan pengguna untuk membeli lebih banyak peralatan. *Kedua*, jumlah pengguna juga kemungkinan akan meningkat karena manfaat elektrifikasi berdampak pada pengguna yang pada awal pembangunan tidak menerima terhubung ke jaringan listrik yang dibangun, dan perkembangan desa juga mempengaruhi kelebihan beban. Untuk mengantisipasi peningkatan permintaan tanpa mengorbankan kualitas layanan, beberapa komponen dari sistem harus menggunakan kapasitas yang lebih besar saat perencanaan awal. Untuk menghindari besarnya biaya modal awal, maka kapasitas cukup ditingkatkan sebesar 30%, terutama pada kabel dan baterai. Teknologi pembangkit dapat ditingkatkan setelah sesuai dengan permintaan [28]

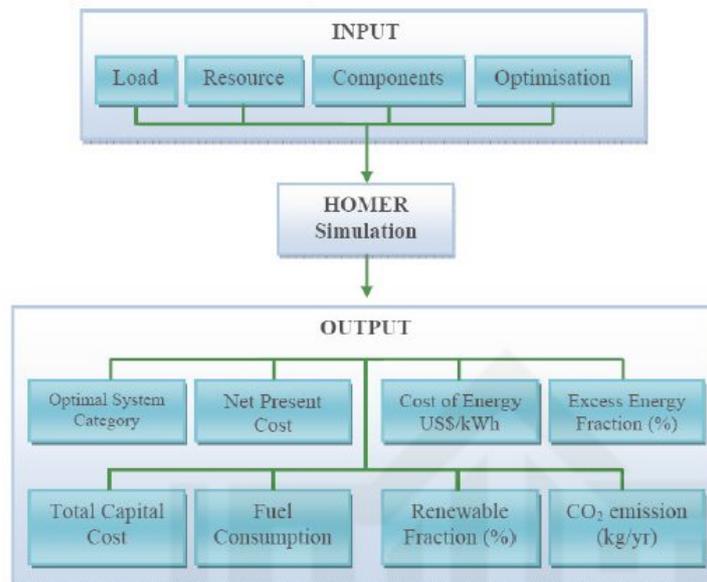
2.9 HOMER

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai perangkat lunak HOMER yang akan digunakan untuk analisis dalam penelitian ini. Adapun penjelasan mengenai perangkat lunak HOMER merujuk dari referensi utama HOMER oleh peneliti sebelumnya [29] sebagai berikut.

2.9.1. Pendahuluan

Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) adalah perangkat lunak komputer yang dikembangkan oleh *US National Renewable Energy Laboratory* (NREL) untuk membantu dalam desain sistem pembangkit listrik *hybrid* menggunakan teknologi energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit *hybrid* yang berdiri sendiri (*stand-alone*) maupun terhubung ke jaringan listrik utama (*grid connected*). HOMER juga memungkinkan modeler untuk membandingkan banyak pilihan desain yang berbeda berdasarkan manfaat teknis dan ekonomi. Dalam perangkat lunak HOMER menyediakan banyak pilihan pembangkit listrik yang terdiri dari PV, turbin angin, micro-hidro, hidro kinetik, biomasa, Genset (diesel, bensin, biodiesel, biogas), fuel-cell, baterai, dan lain sebagainya.

HOMER melakukan tiga tugas pokok: simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Dalam proses simulasi, HOMER mensimulasikan operasi sistem untuk setiap 8.760 jam dalam setahun untuk menentukan kelayakan teknis dan biaya siklus hidup (*life-cycle cost*). Dalam proses optimasi, HOMER mensimulasikan banyak konfigurasi sistem yang berbeda menampilkan secara berurutan beberapa hasil simulasi yang dimulai dari *Net Present Cost* (NPC) terendah. Dalam proses simulasi ini HOMER juga memperkirakan semua biaya investasi awal sampai biaya selama masa operasi sistem seperti biaya penggantian komponen-komponen, biaya *Operasi dan Maintenance* (O&M), biaya bahan bakar, dan lain-lain. Dalam proses analisis sensitivitas, HOMER melakukan beberapa optimasi berbagai asumsi masukan untuk mengukur efek dari ketidakpastian atau perubahan dalam model input. Tiga proses yang dilakukan HOMER digambarkan oleh diagram pada Gambar 2.21 yang diambil dari Kunaifi [30]



Gambar 2.21. Diagram alir simulasi dan optimasi HOMER [30].

2.9.2 Prinsip Kerja HOMER

1. Simulasi (*simulation*)

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang berisikan beberapa kombinasi dari photovoltaic, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, inverter, dan lain-lain. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan transmisi ataupun terpisah, digunakan untuk melayani beban ac ataupun dc dan beban thermal.

2. Optimisasi (*Optimization*)

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimisasi, HOMER menggunakan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Tujuan dari proses optimisasi adalah menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variabel nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna.

Variabel nilai yang dapat diubah oleh pengguna adalah:

- a. Kapasitas daya *photovoltaic*.
- b. Jumlah turbin angin yang akan digunakan.
- c. Kapasitas daya turbin air, HOMER hanya memperbolehkan menggunakan 1 sistem turbin air.
- d. Kapasitas daya dari generator.
- e. Jumlah baterai yang digunakan.
- f. Kapasitas daya konverter ac-dc.
- g. Kapasitas daya dari electrolizer.
- h. Kapasitas daya dari tangki hidrogen.
- i. Strategi pengisian baterai (cara tentang pengisian baterai).

3. Analisis Sensitifitas (*Sensitiviti Analysis*)

Tahap selanjutnya adalah tahap analisis sensitifitas. Analisis sensitifitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (input) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitifitas dengan memasukan beberapa nilai variabel sensitifitas. Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan varibel sensitifitas. Contohnya termasuk harga tenaga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga per tahun, dan lain-lain

2.9.3. Pemodelan Fisik HOMER

Dalam perancangan sistem tenaga listrik menggunakan softwere HOMER dibutuhkan sumber energi, baik berasal dari sumber konvensional maupun sumber energi terbarukan. Selain itu perancangan juga harus memikirkan beban yang akan digunakan baik beban theramal maupun beban listrik.

1. Beban

Pada perancangan homer beban yang digunakan terdiri dari beban thermal dan beban listrik. selain itu beban dibedakan lagi menjadi beban utama (*primari load*) dan beban Tunda (*deferrable Load*).

- a. Beban Utama (*primari load*).

Beban utama adalah permintaan energi listrik yang disuplai oleh suatu sistem tenaga listrik pada waktu yang telah ditentukan. Ketika mengumpulkan data beban, HOMER membuat nilai-nilai data beban per jam berdasarkan profil

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

beban harian. Data beban yang dimasukkan dapat berbeda-beda, sehingga HOMER akan menampilkan grafik beban secara keseluruhan. HOMER juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda seperti beban AC atau Beban DC.

b. Beban Tunda (*Deferrable Load*)

Beban tunda adalah permintaan energi listrik yang dapat ditentukan berdasarkan interval waktu seperti pompa air, alat pengisian baterai dan lainnya. Pada beban tunda sama halnya dengan beban utama dapat dipilih beban berupa AC ataupun DC dan tetapi data yang dimasukkan merupakan data perbulan, dukan data per jam.

c. Beban thermal (*Thermal Load*)

Homer dapat digunakan untuk memodelkan beban panas seperti pemodelan beban listrik. Akan tetapi konsep penggunaan tenaga cadangan tidak diterapkan pada beban thermal.

d. Beban Hidrogen (*Hydrogen Load*)

Data yang diisi pada beban hidrogen merupakan data pemakaian perjam. 2. Sumber Daya Alam (SDA) Dalam perancangan suatu sistem tenaga listrik menggunakan HOMER, diperlukan sumber daya alam, sumber daya alam berfungsi sebagai bahan bakar yang akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

Pada HOMER terdapat empat jenis sumber daya alam yang bisa digunakan sebagai sumber energi yaitu, panas matahari, Air (*Hidro*), Angin, dan biomassa.

a. Sumber energi Matahari (*solar resource*)

Sumber energi matahari digunakan ketika merencanakan sistem tenaga listrik dengan sumber energi utamanya berupa sinar matahari yang di terima oleh panel surya. Data yang dimasukkan ke dalam HOMER merupakan jumlah rata-rata dari radiasi sinar matahari yang mengarah langsung ke permukaan bumi dalam kurun waktu satu tahun.

b. Sumber Energi Air (*Hydro Resource*)

Air merupakan sumber energy yang banyak digunakan di Indonesia, baik yang berskala besar maupun berskala kecil (*mikro*). Debit air yang ada pada sungai, waduk, maupun danau dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik. Pada prinsipnya, air menyimpan energi potensial (pada air yang jatuh

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dari tempat yang lebih tinggi) dan energi kinetik (air mengalir), kedua energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin pada generator yang akhirnya akan menghasilkan energi listrik. Dalam perencanaan sistem tenaga listrik dengan menggunakan HOMER data yang dimasukkan merupakan debit air dalam waktu satu tahun. Perencanaan juga melibatkan aliran sisa, yaitu jumlah air minimum yang harus dilewatkan turbin. HOMER akan mengurangi aliran sisa dari data aliran sungai untuk mengetahui apakah turbin dapat teraliri air atau tidak.

c. Sumber energi Angin (*wind Resource*)

Dalam perencanaan sistem tenaga listrik dengan menggunakan angin sebagai sumber energi utamanya, data yang dimasukkan ke HOMER merupakan data kecepatan angin dalam waktu satu tahun. Pada prinsipnya energi angin digunakan untuk memutar turbin angin yang terhubung langsung dengan generator, sehingga menghasilkan energi listrik.

d. Sumber daya Biomassa (*Biomass Recource*)

Pada sumber energi biomassa, Homer memodelkan sistem tenaga biomassa untuk di ubah menjadi energi listrik. Sumber energi biomasa merupakan sumber energi yang keberadaanya tergantung dari usaha manusia. Sumber energi biomassa diubah menjadi bahan bakar gas yang selanjutnya digunakan untuk menyalaan generator set. Penggunaan biomassa pada pemodelan dengan HOMER dilakukan dengan dua cara yaitu:

1. Menentukan ketersediaan sumber daya alam yang ada dan menentukan konsumsi bahan bakar generator untuk menghasilkan energi listrik.
2. Menggunakan input sumber daya biomassa untuk mengetahui ketersediaan biomassa selama satu tahun.

e. Bahan Bakar (*Fuel*)

Homer menyediakan berbagai macam jenis bahan bakar mulai dari biogas, diesel, ethanol, gasolune, methanol, propane, natural gas, dan store hidrogen. Sedangkan untur properti fisik bahan bakar terdiri dari *density*, *carbon content*, *lower heating value* dan *sulfur content*.

2.10 Analisa Elektris

Analisis Elektris pada penelitian ini menggunakan parameter – parameter pada perhitungan seperti metoda weibull, efisiensi daya serta parameter pada simulasi. Untuk menentukan total konsumsi energi harian yang digunakan maka memakai rumus :

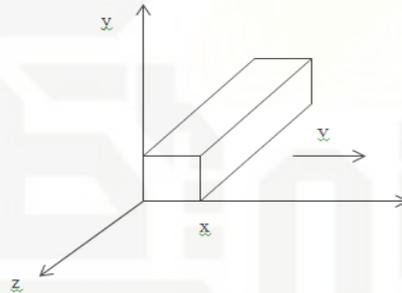
$$\text{Total konsumsi energi harian} = \text{jumlah peralatan listrik (unit)} \times \text{power rating peralatan listrik (Watt)} \times \text{durasi pemakaian peralatan listrik (jam)} \quad (2.3)$$

2.10.1 Perhitungan

Perhitungan elektris menggunakan parameter seperti (*Capacity Factor- CF*), Energi produksi tahunan turbin angin (*Annual Energi Production-AEP*) dan koefisiensi turbin angin.

a. Daya Angin

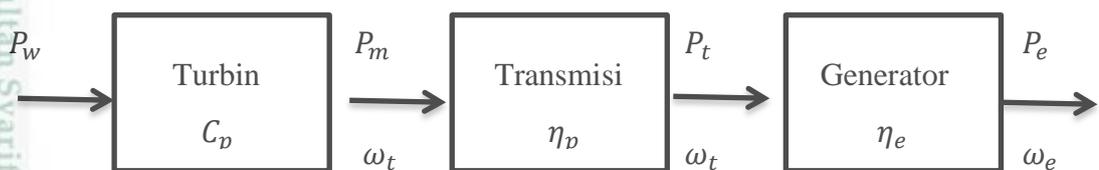
Besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh angin (potensi angin) adalah turunan dari energi kinetik terhadap waktu dan sebanding dengan rapat massa udara yang mengalir melalui permukaan tertentu dan kecepatan angin yang melalui bidang sapuan rotor.



Gambar 2.22 Sekumpulan udara bergerak dengan kecepatan v [31].

Energi kinetik yang dihasilkan sekumpulan udara dengan massa m , dengan kecepatan v dengan arah x , sekumpulan udara bergerak dapat dilihat pada Gambar 2.9 adalah [31]:

$$U = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho A x) v^2 \quad (2.4)$$



Gambar 2.23 Sistem kelistrikan tenaga angin [31]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Daya angin adalah:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

dimana:

P_w = tenaga dalam watts (746 watts = 1 hp) (1,000 watts = 1 kilowatt)

ρ = density udara (1,225 kg/m³ at permukaan laut)

A = luas area sapuan (m²)

V = kecepatan angin dalam meters/detik (20 mph = 9 m/detik) (mph/2.24 =m/detik)

Dasar Sistem kelistrikan tenaga angin dapat dilihat pada gambar 4.10. mula mulanya daya angin P_w = daya melewati turbin angin sehingga diperoleh daya mekanik P_m dengan kecepatan sudut ω_m yang mana daya disuplai ke transmisi. Daya output P_t merupakan perkalian daya *output* P_m dan efisiensi transmisi η_m [31].

$$P_t = \eta_m P_m \tag{2.5}$$

Daya output mekanik P_m aktual dapat ditulis [31]:

$$P_m = C_p \left(\frac{1}{2} \rho A v^3 \right) = C_p \cdot P \tag{2.6}$$

Dimana C_p adalah coefisien performa turbin angin yang nilainya tidak konstan, dipengaruhi kecepatan angin, kecepatan putaran turbin, dan parameter sudu turbin. Maka di dapat persamaan sebagai berikut [31]:

$$P_e = \eta_g \cdot P_t \tag{2.7}$$

Dengan:

P_e = daya listrik yang dihasilkan

η_g = efisiensi generator

P_t = daya transmisi

Namun dalam penelitian ini, hanya kecepatan angin dan daya elektrik yang diketahui sedangkan C_p tidak diketahui, maka daya angin sama dengan daya mekanik, sehingga untuk mendapatkan nilai efisiensi menggunakan persamaan seperti dibawah ini [31]:

$$\eta = \frac{P_e}{P_m} \tag{2.8}$$

Untuk mencari nilai luas sapuan memakai rumus berdasarkan persamaan :

$$A = \pi r^2 \quad (2.11)$$

c. Daya Mekanik

Daya mekanik merupakan daya gerak yang berguna untuk memutar gerak turbin.

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya mekanik yaitu :

$$P_m = P_w \times Cp \quad (2.11)$$

Dimana :

P_m : Daya Mekanik

P_w : Daya angin

Cp : Koefisien kinerja (maksimum teoritis = 0,59 [Betz limit], Desain = 0,35)

d. Daya Listrik

Untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan maka digunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$P_e = \eta \times P_m \quad (2.12)$$

dimana:

η = efisiensi sistem (%)

P_e = daya elektrik (W)

P_m = daya mekanik (W)

Untuk menentukan kebutuhan energi listrik total yang harus disuplai oleh pembangkit menggunakan persamaan berikut :

$$E_{tot} = \frac{E}{\eta_{inv}} \quad (2.13)$$

e. Bank baterai

Kapasitas baterai yaitu jumlah muatan yang tersimpan pada baterai yang menggambarkan sejumlah energi maksimal yang di keluarkan dari sebuah baterai yang dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Nilai Ah ini didapatkan dari perkalian antara nilai arus yang dapat dikeluarkan baterai dengan berapa lamanya waktu untuk mengeluarkannya. Untuk itu, baterai yang bernilai 12 V 200 Ah berarti bahwa baterai akan dapat melepaskan daya baik sebesar 200 A dalam 1 jam, 50 A dalam 4 jam, 4 A dalam 50 jam, atau 1 A dalam 200 jam. Kemudian, ketika merancang kapasitas baterai untuk sistem PLTB yang paling penting dilakukan yaitu memperhatikan berapa jumlah

hari-hari otonominya (days of autonomy). Hari-hari otonomi yaitu hari-hari disaat tidak adanya angin. Jadi pertama sebelum kita mengetahui berapa kapasitas baterai yang digunakan maka ada beberapa persamaan yang akan digunakan :

a. *Design load* Ah

Design load Ah adalah kebutuhan energi listrik dalam satuan Ampere hour (Ah). Untuk mengitung daya dalam satuan amper menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{E_{total}}{V_{Dc}} \quad (2.14)$$

E_{total} = Total kebutuhan energi harian

V_{Dc} = Tegangan Inverter yang digunakan

b. Target hari otonomi (*autonomy*) (T_{aut})

Merupakan target jumlah hari operasi maksimum baterai tanpa masukan energi dari PV *array* dan Genset sebelum melebihi DoD maksimum baterai. Menurut AS/NZS 4509.2:2010, untuk sistem PLTB dengan kontrol otomatis dapat menggunakan waktu otonomi 2 sampai 3 hari.

c. *Maximum Depth of Discharge* (DoD_{max})

Merupakan besarnya muatan listrik maksimum dari baterai yang diizinkan untuk digunakan. Sebagai contoh, penarikan muatan listrik sebesar 40 Ah dari baterai dengan kapasitas 100 Ah, maka ini dikatakan DoD sebesar 40%.

d. Kapasitas baterai pada *nominal battery discharge rate* (C_x)

Menurut AS/NZS 4509.2:2010, pemilihan C_x harus mempertimbangkan beban maksimum dan durasi beban, *discharge rate* 100 jam cocok digunakan untuk kebutuhan beban yang rendah dan *discharge rate* 20 jam cocok digunakan untuk beban yang tinggi.

e. Faktor koreksi temperatur

Menurut AS/NZS 4509.2:2010, faktor koreksi temperatur untuk baterai dengan *discharge rate* 20 jam (C_{20}) adalah sebesar 98%.

f. Kapasitas baterai yang diperlukan

Besarnya kapasitas baterai yang diperlukan dalam sistem pembangkit listrik *hybrid* dalam penelitian ini adalah:

$$E_{baterai} = \frac{Q \times T_{aut}}{DoD_{max} \times \text{Faktor koreksi temperatur}} \quad (2.15)$$

g. Jumlah baterai di hubung seri

Jumlah baterai yang di seri kan dalam penelitian ini menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah Baterai Seri} = \frac{V_{dc} (\text{inverter})}{V_{dc} (\text{Baterai})} \quad (2.16)$$

h. Jumlah baterai yang di hubung paralel

$$\text{Jumlah baterai paralel} = \frac{\text{Kapasitas baterai diperlukan}}{\text{Kapasitas baterai pada } C_x} \quad (2.17)$$

f. Inverter

Dalam menentukan kapasitas inverter pada penelitian ini, akan menggunakan *oversupply coefficient* (f_o) dengan menggunakan persamaan :

$$E_{Inverter} = \text{Peak load} \times f_o \quad (2.18)$$

g. Menentukan Jumlah Turbin Angin

Menentukan jumlah turbin angina yang akan digunakan memakai rumus berikut:

$$\text{Jumlah Turbin Angin} = \frac{E_{total}}{\text{rata rata produksi turbin angin 1 hari}} \quad (2.19)$$

2.11 Model Ekonomi

Total *Net Present Cost* (NPC) adalah nilai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya O & M, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. Model ekonomi untuk simulasi HOMER menggunakan *Net Present Cost* (NPC) yang merupakan total biaya instalasi dan operasi sistem selama periode usia proyek (*lifetime*).

Total NPC dari sistem dihitung dengan persamaan berikut [32]:

$$C_{NPC, tot} = \frac{C_{ann, tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (2.20)$$

Dimana, $C_{ann, tot}$ (*annually cost*) adalah total biaya tahunan (\$/tahun), i (*interest*) adalah tingkat bunga riil tahunan (%), R_{proj} adalah usia proyek (tahun), dan CRF (*capital recovery factor*) adalah faktor pemulihan modal, dengan persamaan [32]:

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2.21)$$

Di mana, i adalah tingkat bunga ril tahunan, dan N adalah tahun.

Hal ini diasumsikan bahwa semua harga meningkat pada tingkat yang sama. HOMER menggunakan tingkat bunga riil tahunan daripada tingkat bunga nominal dalam perhitungan. Namun, tingkat bunga riil tahunan dapat diperoleh dari tingkat bunga nominal dengan menggunakan [32]:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \tag{2.22}$$

Di mana i adalah tingkat bunga riil tahunan, i' adalah nominal tingkat suku bunga tahunan, dan f adalah tingkat inflasi tahunan.

Levelized Cost Of Energy (LCOE) adalah biaya rata-rata per kWh energi listrik yang berguna yang dihasilkan oleh sistem. LCOE dihitung dengan membagi biaya tahunan menghasilkan listrik dengan total produksi listrik [32].

$$LCOE = \frac{C_{ann, tot}}{E_{served}} \tag{2.23}$$

dengan $C_{ann, tot}$: Biaya total sistem tahunan (\$/tahun); $E_{prim, AC}$: Beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun); $E_{prim, DC}$: Beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun); E_{def} : Beban Deferable yang terpenuhi (kWh/tahun); dan $E_{grid sales}$: Total penjualan jaringan listrik (kWh/tahun).

Hak cipta dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.