

KECEPATAN ANGIN: MENGGUNAKAN MAWAR ANGIN SEBAGAI PREDIKTOR

Maidi Saputra, Herri Darsan, Al Munawir

Dosen Teknik Mesin - Universitas Teuku Umar - Meulaboh

E-mail : maidisaputra@utu.ac.id

Abstrak

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi juga semakin meningkat. Pemenuhan energi dewasa ini masih didominasi oleh pembakaran bahan bakar fosil sedangkan energi yang berasal dari energi terbarukan masih terabaikan. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan yang banyak digunakan, karena sifat energi angin yang ramah lingkungan serta mudah dalam melakukan pengoperasian. Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi listrik karena kebutuhan energi listrik yang semakin besar akibat adanya pertumbuhan industri, peningkatan jumlah pemakaian alat elektronik rumah tangga, perkembangan teknologi dan komunikasi, dan sebagainya. Aceh barat merupakan salah satu kabupaten yang terletak di Aceh dengan ibukota bernama Meulaboh. Aceh barat mempunyai letak menurut garis lintang dan bujur yaitu $04^{\circ}06' - 04^{\circ}47'$ Lintang Utara dan $95^{\circ}52' - 96^{\circ}30'$ Bujur Timur, dengan luas daerah $2.927,95 \text{ Km}^2$ dan mempunyai 12 kecamatan serta 321 kampung. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menghasilkan analisis mawar angin sebagai dasar prediksi daya angin dikota Meulaboh. Dari analisis didapatkan bahwa Mawar Angin tersebut memperlihatkan distribusi energi angin selama kurun waktu setahun dalam arah 360° . Arah angin maksimum terjadi pada arah 300° dan distribusi terendah terjadi pada arah 80° .

Kata Kunci : Energi fosil, Energi Listrik, Daya Angin, Mawar Angin, Kota Meulaboh

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi juga semakin meningkat. Pemenuhan energi dewasa ini masih didominasi oleh pembakaran bahan bakar fosil sedangkan energi yang berasal dari energi terbarukan masih terabaikan. Penggunaan bahan bakar fosil telah menimbulkan beragam permasalahan, diantaranya masalah lingkungan, kesehatan, ekonomi, bahkan berpotensi menimbulkan konflik akibat adanya sengketa pengelolaan lahan-lahan yang kaya akan energi fosil.

Pembangkitan listrik sekarang ini masih banyak menggunakan sumber pembangkit menggunakan minyak (bahan bakar fosil) yang memerlukan biaya investasi dan operasional yang tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan diversifikasi pemakaian sumber pembangkit energi listrik dari minyak ke sumber energi terbarukan, seperti angin.

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan yang banyak digunakan, karena sifat energi angin yang ramah lingkungan serta mudah dalam melakukan pengoperasian. Berdasarkan data dari GWEC, jumlah penggunaan pembangkit listrik tenaga angin didunia terus meningkat dengan peningkatan sebesar 20-30% tiap tahun. Teknologi sistem pembangkit listrik tenaga angin saat ini mampu mengubah energi angin menjadi energi listrik sebesar 40%, disebabkan masih adanya energi kinetik angin setelah melewati sudu turbin.

Kebutuhan energi listrik pada umumnya akan mengalami peningkatan, berkisar antara 3–20 persen pertahun. Pertumbuhan ini dipengaruhi oleh laju pertumbuhan ekonomi serta laju perkembangan industri suatu Negara. Penyediaan energi listrik dewasa ini masih dibangkitkan dengan bahan bakar fosil (minyak bumi maupun gas alam). Dari segi cadangan yang semakin menipis maupun investasi pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil relatif cukup mahal, sehingga membuka kesempatan bagi upaya diversifikasi energi ke energi non fosil/energi terbarukan (*renewable energy*) seperti energi panas bumi, air, surya, biomassa dan energi angin.

Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi listrik karena kebutuhan energi listrik yang semakin besar akibat adanya pertumbuhan industri, peningkatan jumlah pemakaian alat elektronik rumah tangga, perkembangan teknologi dan komunikasi, dan sebagainya. Beberapa permasalahan lain yang timbul antara lain penyebaran dan ketersediaan energi listrik yang tidak merata, pada beberapa daerah terpencil masih banyak masyarakat yang belum menikmati energi listrik akibat sulitnya membangun jaringan listrik.

Aceh barat merupakan salah satu kabupaten yang terletak di Aceh dengan ibukota bernama Meulaboh. Aceh barat mempunyai letak menurut garis lintang dan bujur yaitu $04^{\circ}06' - 04^{\circ}47'$ Lintang Utara dan $95^{\circ}52' - 96^{\circ}30'$ Bujur Timur, dengan luas daerah 2.927,95 Km² dan mempunyai 12 kecamatan serta 321 kampung.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menghasilkan analisis mawar angin sebagai dasar prediksi daya angin dikota Meulaboh.

Angin

Angin adalah aliran udara yang terdiri dari banyak gas di atmosfer bumi. Rotasi bumi, pemanasan yang tidak merata pada atmosfer serta kondisi permukaan bumi yang tidak rata, merupakan faktor utama yang menyebabkan angin. Energi pada angin oleh manusia dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti pompa air, sumber pembangkit listrik, dll.

Angin merupakan sumber energi berkelanjutan karena bersifat terbarukan, didistribusikan secara luas dan melimpah. Energi angin sebagai kontribusi dalam mengurangi emisi rumah kaca, karena digunakan sebagai bahan energi alternatif pengganti fosil dalam sistem pembangkit energi listrik [1]. Turbin angin menerima energi kinetik yang dihasilkan oleh angin, dan melalui baling-baling yang terhubung dengan generator, energi angin tersebut dirubah menjadi energi listrik.

Angin dapat diklasifikasikan sebagai angin global dan angin lokal. Angin global disebabkan oleh pemanasan matahari dengan intensitas yang besar pada permukaan bumi dekat khatulistiwa. Hal ini menyebabkan peningkatan suhu udara pada daerah tropis yang kemudian mengalir melalui atmosfer atas ke arah kutub, udara dingin dari kutub mengalir kembali ke khatulistiwa.

Telah diperkirakan (133, 134) bahwa sekitar 2 persen kekurangan dari radiasi matahari pada permukaan bumi diubah menjadi energi kinetik di atmosfer dan 30 persen dari energi kinetik terjadi pada daerah paling rendah sekitar 1000m (3280ft) dari ketinggian.

Instrumentasi Pengukur Kecepatan Angin

Instrumentasi sensor pengukuran angin diklasifikasikan menurut prinsip pengoperasian (ASME, 1988), yaitu :

1. Transfer momentum – cup, baling-baling, pelat bertekanan;
2. Tekanan pada sensor tetap - tabung pitot dan bidang geser;
3. Perpindahan panas – kabel panas;

4. Efek dropler – akustik dan laser;
5. Metode spesial - pergeseran ion, pelepasan pusaran, dll

Ada beberapa instrumen untuk pengukuran kecepatan angin, tetapi dalam beberapa pengukuran potensi kecepatan angin terdapat empat sistem yang digunakan, seperti :

1. Anemometer cup;
2. Anemometer baling-baling;
3. Anemometer sonic;
4. Sensor akustik Doppler;

Anemometer cup

Anemometer cup adalah salah satu alat yang paling umum digunakan untuk mengukur kecepatan angin (Kristensen, 1999). Anemometer cup menggunakan sistem rotasi yang bervariasi sehingga menghasilkan sinyal. Desain umum pada alat ini adalah tiga buah cup terpasang pada suatu poros kecil. Tingkat rotasi cup diukur dengan :

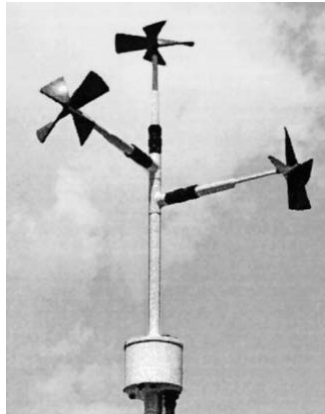
1. Penghitung mekanik untuk mencatat jumlah rotasi
2. Kelistrikan atau perubahan tegangan elektronik (AC atau DC);
3. Saklar fotoelektrik.



Gambar 1: Anemometer Cup
Sumber : “Wind Energy Explained”, J. F. Manwell et al

Anemometer baling-baling

Anemometer baling-baling menggunakan angin untuk menggerakkan poros yang terhubung ke generator AC atau DC. Alat menggunakan aplikasi energi angin dalam merubah data kecepatan angin. Dalam kondisi horizontal, baling-baling dipertahankan dalam posisi menghadap arah angin pada bagian ekor baling-baling. Keakuratan dari sistem anemometer ini adalah sekitar 2%.



Gambar 2: Anemometer tipe baling-baling
Sumber : "Wind Energy Explained", J. F. Manwell et al

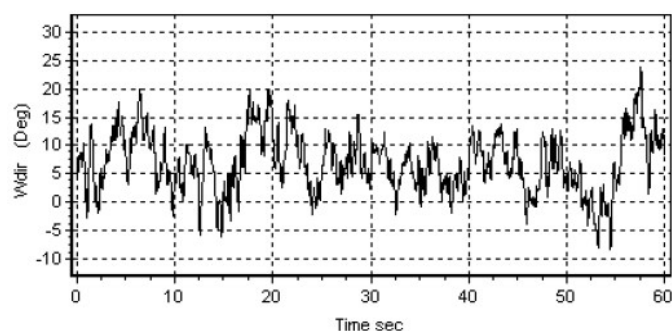
Anemometers sonic

Anemometer sonic awalnya dikembangkan pada tahun 1970. Sistem anemometer ini menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur kecepatan dan arah angin. Kecepatan angin diukur berdasarkan waktu terbang pulsa sonik antara pasangan transduser. Operasional anemometer sonik ini pertama kali dikembangkan oleh Cuerva dan Sanz-Andres (2000).

Aliran satu, dua, atau tiga dimensi dapat diukur melalui pasangan sinyal transduser. Resolusi ruang ditentukan berdasarkan panjang jalur antara transduser (biasanya 10 sampai 20 cm). Anemometer sonic dapat digunakan dalam pengukuran turbulensi, dengan resolusi temporal antara 20 Hz atau lebih.

Arah angin

Arah angin dan perubahan arah angin ditentukan oleh geografi, kondisi iklim global dan lokal serta oleh rotasi bumi. Secara lokal, arah angin akan bervariasi dengan intensitas turbulensi menyamping serta untuk lokasi di dekat pesisir pantai, secara khusus arah angin dapat bervariasi antara siang dan malam.



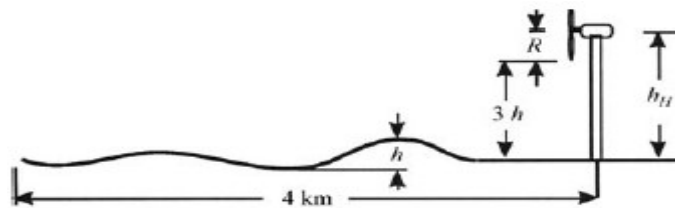
Gambar 3 : Contoh fluktuasi arah angin.
Sumber : "Wind Power Plants", R. Gasch & J. Twele

Meskipun penyimpangan sistem turbin angin akan merubah arah baling-baling ke arah angin rata-rata, namun fluktuasi arah angin yang terjadi pada jangka pendek akan menimbulkan kelelahan pembebanan. Perubahan kecepatan angin secara mendadak terhadap arah angin selama produksi dapat menimbulkan beban yang ekstrim.

Pengaruh Karakteristik Bentuk Dataran Terhadap Angin Klasifikasi dataran

Klasifikasi dasar dataran dibagi kedalam daerah datar dan daerah tidak datar. Klasifikasi daerah tidak datar adalah sebagai daerah kompleks (pertimbangan efek dataran terhadap kondisi aliran udara). Pada daerah datar terdapat penyimpangan aliran udara yang kecil, seperti hutan, bangunan rumah, dll (Wegley et al., 1980). Daerah tidak datar mempunyai perbedaan ketinggian dan kedalaman, seperti bukit, pegunungan dan lembah. Beberapa hal harus dipenuhi untuk memenuhi kondisi daerah datar untuk penempatan turbin angin:

1. Perbedaan ketinggian antara lokasi turbin angin dan daerah sekitarnya tidak lebih dari 60m pada jarak diameter lingkaran 11,5 km disekitar lokasi turbin.
- 2.



Gambar 4 : Penentuan daerah datar

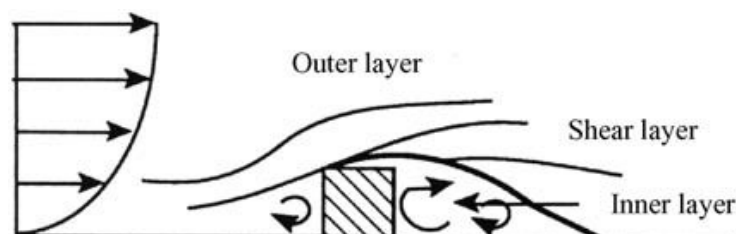
Sumber : "Wind Power Plants", R. Gasch & J. Twele

3. Perbukitan yang mempunyai aspek rasio (tinggi terhadap lebar) tidak lebih besar dari 1/50 yang berjarak sekitar 4 km terhadap hulu dan hilir.
4. Perbedaan ketinggian antara ujung bawah dari disk rotor terhadap ketinggian terendah pada dataran yaitu tiga kali lebih besar dari selisih ketinggian maksimum (h) dalam 4 km dari arah hulu.

Aliran diatas dataran datar dengan hambatan

Aliran udara yang mengalir pada daerah dataran datar juga terdapat beberapa hambatan, yaitu hambatan yang diciptakan oleh manusia dan hambatan yang tercipta oleh alam. Hambatan yang diciptakan oleh manusia seperti, bangunan, silo, dll. Dan hambatan yang tercipta oleh alam seperti barisan perpoohonan, dll.

Pada daerah dengan hambatan oleh manusia, hambatan digambarkan sebagai bidang blok persegi panjang dan aliran dipertimbangkan menjadi dua dimensi. Aliran seperti ini seperti ditunjukkan pada gambar menghasilkan momentum bangunan dengan lapisan geser bebas.

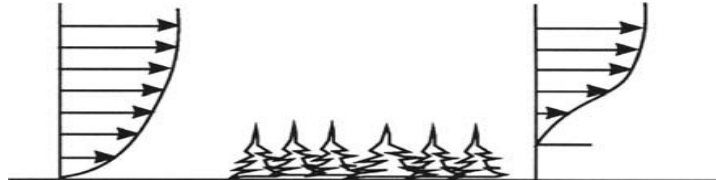


Gambar 5 : Skema momentum bangunan

Sumber : "Wind Energy Explained", J. F. Manwell et al

Karakteristik dataran tidak rata : skala kecil.

Para peneliti (*Hiester dan Pennell, 1981*) telah membagi dataran tidak rata menjadi daerah terisolir dan daerah pegunungan. Pembagian mengacu kepada skala kecil dan skala besar, untuk dataran tidak rata pada skala kecil dibagi kedalam ketinggian dan kedalaman.

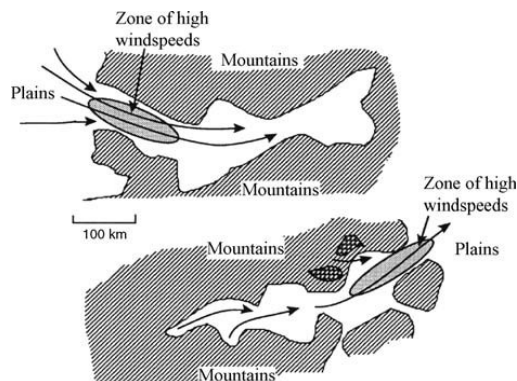


Gambar 6 : Pengaruh perubahan kekasaran permukaan dari halus sampai kasar
Sumber : “Wind Energy Explained”, J. F. Manwell et al

Karakteristik dataran tidak rata : skala besar

Model skala besar adalah salah satu dimensi vertikal yang sangat signifikan terhadap kondisi lapisan batas. Terdiri dari pegunungan, tebing curam, lembah, ngarai, dll. Aliran yang melewati daerah ini sangat kompleks dan prediksi aliran sering tidak dapat diukur.

Contoh daerah dengan kedalaman yang besar dan aliran angin yang mengalir diperlihatkan pada gambar. Hal ini terjadi ketika pergerakan angin sedang sampai kuat (kira-kira pergerakan angin sebesar 35 derajat) terhadap lembah atau ngarai dan posisi pegunungan secara efektif dapat menjadi saluran arah pergerakan angin.

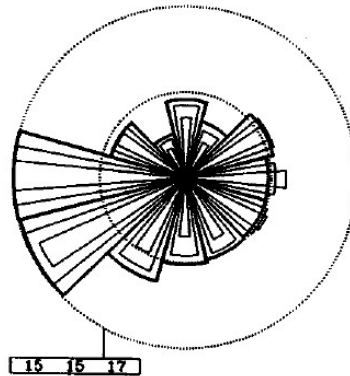


Gambar 7 : Peningkatan kecepatan angin karena penyaluran arah angin oleh pegunungan
Sumber : DNV/Risø (2002)

Mawar Angin

Penyebaran arah angin (mawar angin) terutama berhubungan dengan pemasangan turbin angin. Pada beberapa kasus, turbin angin dipasang di belakang rintangan, sehingga turbin tersebut terjadi peningkatan intensitas turbulensi yang perlu dipertimbangkan.

Distribusi arah angin sering diwakili oleh mawar angin sebagai bagian yang tampak pada Gambar 2-21.



Gambar 8 : Contoh mawar angin pada satu lokasi.
Sumber : DNV/Risø (2002)

360° sekitar lokasi biasanya dibagi menjadi 12 sektor masing-masing per 30°. Jari-jari terluar pada masing-masing sektor merupakan frekwensi relatif angin terhadap arah. Bagian tengah menunjukkan kontribusi dari masing-masing sektor terhadap kecepatan angin rata-rata total, dan bagian dalam menunjukkan kontribusi dari model kecepatan angin. Skala untuk setiap kuantitas adalah normal, dengan demikian memungkinkan jumlah maksimum mencapai lingkaran luar. Frekuensi dalam % untuk masing-masing kuantitas diberikan pada kotak kecil di bawah mawar angin.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pengambilan data primer potensi angin, meliputi kecepatan angin dilakukan selama satu bulan, kemudian dilanjutkan pengambilan data sekunder yang berasal dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Meulaboh.

Tempat Penelitian yaitu didesa Suak Indrapuri / Ujong Karang Meulaboh, Aceh Barat.

Metode Penelitian

Metode Penelitian yang dilaksanakan meliputi beberapa tahapan dalam mencapai tujuan penelitian, yaitu :

1. Pengambilan data primer, yaitu meliputi :
 - a. Pengukuran kecepatan angin dan pemetaan angin pada lokasi penelitian.
 - b. Karakteristik lingkungan serta observasi pengguna energi listrik pada masyarakat dikota Meulaboh.
2. Pengumpulan data sekunder, yaitu meliputi :
 - a. Pengumpulan/pengambilan data dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) tentang kondisi suatu daerah.
 - b. Identifikasi profil suatu daerah yang berkaitan dengan geografis, iklim, maupun potensi angin lokal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Daya Energi

Energi angin

Sumber energi angin sebagai salah satu sumber energi terbarukan memberikan data angin yang akan digunakan oleh pembangkit.

Pengukuran kecepatan angin selama bulan juli 2012 yang dilakukan dilokasi Pantai Ujong Karang, Meulaboh menggunakan anemometer, seperti diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1 : Hasil pengukuran kecepatan angin di Pantai Ujong Karang, Meulaboh selama bulan Juli 2012

Tgl	Kec. Angin Maksimum	Kec. Angin Minimum	Kec. Angin Rata-rata (m/s)
1	10.5	0	5.48
2	10	1	5.69
3	11	1.5	6.95
4	8	0	4.66
5	13.5	0	6
6	12	0	5.33
7	15	1	5.67
8	17	1	5.58
9	17	2	5.48
10	10	2	5.79
11	9.5	1.5	5.16
12	12.5	0	5.57
13	11.5	1.5	6.48
14	8.5	1	5.01
15	12.5	0	6.66
16	11	1	6.12
17	9	1	4.79
18	11	2	5.52
19	10.5	1	5.47
20	9.5	3.5	6.12
21	9	0	4.89
22	11	2	5.72
23	9.5	0	6.03
24	12	1	6.52
25	10	1.5	4.97
26	11	0	5.07
27	12	2	6.26
28	10	2	6.39
29	8	2	5.28
30	11.5	1.5	6.41
31	10	2.5	5.59
Kec. Angin rata-rata keseluruhan			5.69

Sebagai perbandingan data pada bulan Juli 2012, dilakukan pengambilan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Meulaboh, sehingga didapat data seperti diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2 : Data BMKG Stasiun Meulaboh pada bulan Juli 2012

Tgl	Kec. angin rata-rata (knott)	Kec. angin rata-rata (m/s)
1	5	2.57
2	9	4.63
3	22	6.67
4	11	5.66
5	8	4.12
6	18	6.6
7	35	6.7
8	7	3.6
9	18	6.6
10	31	6.65
11	6	3.09
12	8	4.12
13	4	2.06
14	21	6.5
15	6	3.09
16	8	4.12
17	6	3.09
18	5	2.57
19	6	3.09
20	6	3.09
21	18	6.6
22	11	5.66
23	9	4.63
24	6	3.09
25	4	2.06
26	9	4.63
27	8	4.12
28	8	4.12
29	7	3.6
30	5	2.57
31	5	2.57
Kec. angin rata-rata keseluruhan		4.27

Pengukuran potensi energi angin dilakukan dengan cara mengukur kecepatan angin menggunakan anemometer dan untuk data tahunan diperoleh dari Badan Metrologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meulaboh.

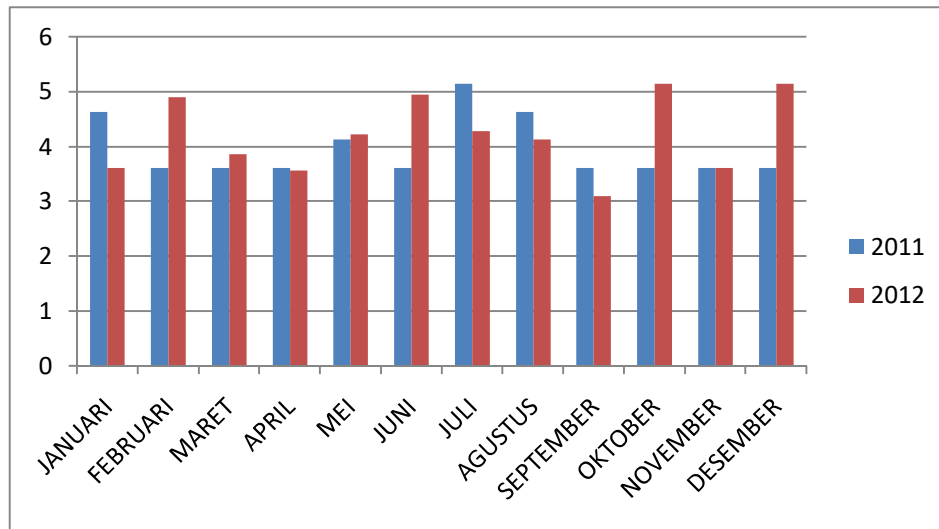
Pola pengukuran antara pengukuran langsung di lokasi dan hasil pengukuran dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meulaboh terletak pada karakteristik lokasi pengukuran yang sama, yaitu diukur pada lokasi dipinggir pantai serta letak anemometer pada ketinggian 10 meter.

Berdasarkan nilai rata-rata perbulan yang mendekati dan karakteristik lokasi pengukuran, maka terdapat kecocokan antara data kecepatan angin hasil pengukuran dan

data kecepatan angin hasil BMKG sehingga bisa digunakan sebagai data kecepatan angin pertahun.

Data secara keseluruhan diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Meulaboh, memberikan data pertahun yang digunakan dalam menganalisa pembangkit.

Gambar 9 memberikan perbandingan data kecepatan angin rata-rata pertahun selama tahun 2011 dan 2012.



Gambar 9 : Perbandingan data angin rata-rata antara tahun 2011 dan 2012

Data yang digunakan dalam analisis pembangkit adalah data selama tahun 2012, seperti diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3 : Kecepatan angin rata-rata perbulan selama setahun.

Bulan	Kecepatan Angin Rata-rata (Knott)	Kecepatan Angin Rata-rata (m/s)
Januari	7	3.6
Februari	9.5	4.9
Maret	7.5	3.9
April	6.9	3.5
Mei	8.2	4.2
Juni	9.6	4.9
Juli	8.3	4.3
Agustus	8	4.1
September	6	3
Oktober	10	5.1
November	7	3.6
Desember	10	5.1
Kecepatan angin rata-rata	8.358	4.28

Data dari BMKG Stasiun Meulaboh harus dikoreksi menurut ketinggian poros turbin angin dan berdasarkan nilai koefisien karakteristik daerah dimana lokasi turbin angin akan dipasang.

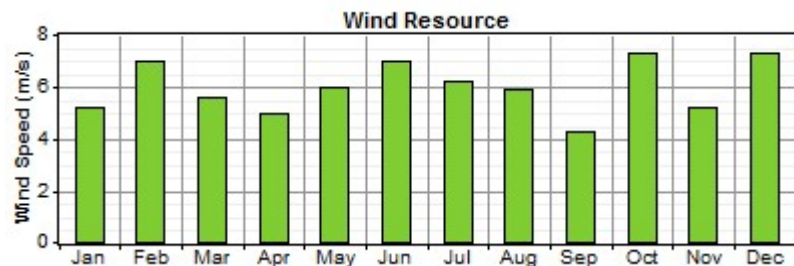
Ketinggian poros turbin angin adalah 60 meter dari permukaan tanah serta kondisi lokasi pemasangan turbin angin terletak pada daerah “Tanaman tinggi dan Lindung” dengan koefisien gesekan (α) sebesar 0,20 maka data tersebut menjadi :

Tabel 4 : Kecepatan angin rata-rata perbulan selama setahun setelah dikoreksi.

Bulan	Kecepatan Angin Rata-rata (m/s)
Januari	5.2
Februari	7
Maret	5.6
April	5
Mei	6
Juni	7
Juli	6.2
Agustus	5.9
September	4.3
Oktober	7.3
November	5.2
Desember	7.3
Kecepatan angin rata-rata	6

Sumber daya angin dalam bentuk diagram memperlihatkan frekwensi kecepatan angin yang digunakan oleh pembangkit selama setahun, seperti diperlihatkan oleh gambar 10.

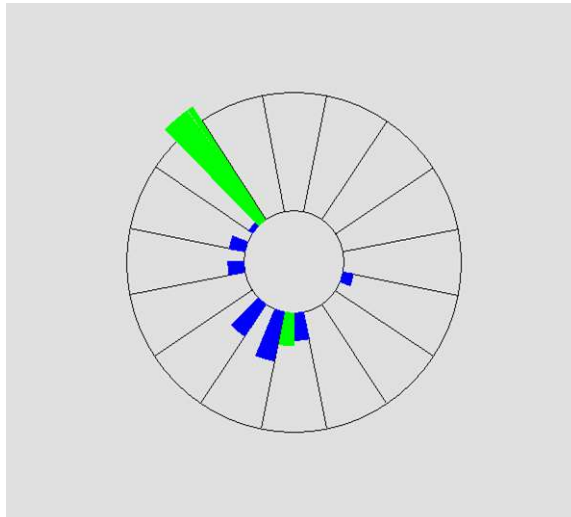
Pada gambar tersebut terlihat bahwa konfigurasi angin yang maksimum terjadi pada bulan Oktober dan Desember yaitu sebesar 7.3 m/s serta kecepatan angin minimum terjadi pada bulan September yaitu sebesar 4.3 m/s.



Gambar 10 : Frekwensi kecepatan angin pertahun dalam bentuk diagram.

Mawar angin

Model distribusi angin diberikan oleh mawar angin, seperti terlihat pada gambar 11.



Gambar 11 : Mawar Angin

Mawar angin tersebut memperlihatkan distribusi energi angin selama kurun waktu setahun dalam arah 360° . Dari gambar tersebut dapat lihat bahwa arah angin maksimum terjadi pada arah 300° dan distribusi terendah terjadi pada arah 80° .

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebelum desain dari sistem hibrid ini dilakukan, dilakukan pengumpulan data primer selama sebulan di lapangan, kemudian dilanjutkan pengambilan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meulaboh.
2. Kecepatan angin rata-rata yang dihasilkan dari hasil pengukuran untuk perancangan sistem pembangkit adalah sebesar 6.00 m/s.
3. Kecepatan angin maksimum menurut data yang dikumpulkan selama tahun 2012 terjadi pada bulan Oktober dan Desember yaitu sebesar 7.3 m/s dan kecepatan angin minimum terjadi pada bulan September yaitu sebesar 4.3 m/s.
1. Mawar angin tersebut memperlihatkan distribusi energi angin selama kurun waktu setahun dalam arah 360° . Dari gambar tersebut dapat lihat bahwa arah angin maksimum terjadi pada arah 300° dan distribusi terendah terjadi pada arah 80° .

5. SARAN

Dari hasil penelitian, maka perlu diberikan saran yaitu perlunya pemanfaatan sumber daya angin menjadi daya energi listrik melalui pemanfaatan turbin angin, sehingga dapat memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

1. AWEA, (1997). *International wind energy incentives*, American Wind Energy Association Washington D.C
2. A.W. Culp, (1991). *Principles of Energy Conversion*, 2nd Edition (McGraw Hill International Edition, NewYork)
3. Breeze, P. et al, (2009). *Renewable Energy Focus Handbook*, Oxford, UK: Elsevier Inc.
4. G. M. Masters, (2004). *Renewable and Efficient Electrical Power Systems* (JohnWiley & Sons, Inc., Ho, New Jersey).
5. Gipe, P., (2004). *Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business*, Chelsea Green Publishing Company.
6. J. F. Manwell and J. G. McGowan, A. L. Rogers, (2009). *WIND ENERGY EXPLAINED Theory Design and Application Second Edition*. John Wiley & Sons Ltd
7. Mick Sagrillo, Ian Woofenden, Robert Aram and Jim Green, *WIND POWER Basics*. New Society Publisher
8. Mathew, S., (2006). *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
9. Sathyajith Mathew, (2006). *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Krips bv, Meppel Binding: Stürtz AG, Würzburg.
10. SINISA STANKOVIC, NEIL CAMPBELL and ALAN HARRIES, (2009). *Urban Wind Energy*, Earthscan in the UK and USA.
11. Soeripno MS, Malik Ibrochim, (2009). *Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Output Turbin Angin Di Lebak Banten*, Jurnal Teknologi dirgantara Vol. 7 No. 1 Juni 2009 51-59.
12. Wagner, H. and Mathur, J., (2009). *Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology and Operation*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.