

# Pemanfaatan *Low Speed Neodymium Wind Turbine Generator* Sebagai Alternatif Sumber Listrik Rumah Kawasan Pesisir

Catur Rakhmad Handoko  
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Surabaya, Indonesia  
catur.handoko@ppns.ac.id

**Abstrak** — Penggunaan tenaga angin sebagai energi listrik alternatif relatif masih jarang diterapkan di Indonesia karena alasan kecepatan angin yang rata-rata rendah. Namun kawasan pesisir adalah perkecualian. Teknologi turbin angin dan generator magnet permanen jenis neodymium diharapkan mampu menjawab tantangan ini. Pengujian generator di laboratorium dengan berbagai variasi kecepatan angin dan kajian potensi angin khususnya wilayah pesisir menunjukkan bahwa turbin angin dengan generator bereksitasi magnet permanen jenis neodymium dapat membangkitkan daya cukup memadai pada kecepatan 4.43 m/s dan 5.9 m/s masing-masing dengan daya keluaran sebesar 49.2 Watt dan 80.24 Watt, Sehingga layak digunakan sebagai sumber daya listrik stand alone untuk kebutuhan rumah tangga.

**Kata Kunci** : Turbin angin, magnet neodymium

## I. PENDAHULUAN

Angin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang belum sepenuhnya dikembangkan di Indonesia. Hal ini disebabkan rata-rata kecepatan angin yang rendah di daerah katulistiwa, sehingga secara teknis belum bisa menghasilkan daya yang cukup untuk menggantikan listrik konvensional.

Namun demikian peluang pemanfaatan energi angin, terutama kawasan pesisir, yang memiliki kecepatan rata-rata 5-6 m/detik, kini terbuka dengan hadirnya teknologi rare earth magnet (magnet neodymium) yang telah tersedia di pasaran terbatas dalam bentuk generator set. Dengan turbin kecepatan rendah, maka diharapkan kombinasi turbin dan generator ini akan bisa menjawab kebutuhan energi listrik di kawasan pesisir yang selama ini disediakan oleh dicatu jaringan PLN bila terdapat jaringan distribusi ataupun disel berbahan bahan solar untuk pulau-pulau terpencil.

Penelitian ini berfokus pada pengujian dan pengukuran efisiensi turbin angin skala kecil dengan generator set dengan eksitasi magnet permanen berjenis neodymium berkapasitas maksimum 300 Watt. Dalam penggunaannya nanti tentu saja dibutuhkan battery dengan berbagai kelengkapannya seperti charging controller dan juga inverter sebelum bisa digunakan secara langsung mencatu beban-beban rumah tangga.

Sistem turbin angin skala kecil ini bisa dioperasikan secara stand alone tanpa terhubung ke grid. Penggunaan secara hibrid dengan pembangkit lain misalnya sistem panel surya sangat dimungkinkan. Sistem pembangkit listrik tenaga angin skala

kecil ini diharapkan memiliki daya keluaran yang hampir sama dengan panel surya yang saat ini beredar dan banyak digunakan di pasaran, yakni 100 Watt peak. Keduanya bisa saling melengkapi. Sistem panel surya bisa mengisi battery pada siang hari, sedangkan sistem angin bisa men-charge battery pada siang dan malam hari tergantung kecepatan angin yang bertiup dan memutar baling-balingnya.

Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa memberi gambaran bagaimana efisiensi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil 300 Watt yang saat ini diklaim bisa beroperasi pada kecepatan angin yang relatif rendah, dibandingkan dengan bila menggunakan generator dc magnet permanen konvensional atau sistem pembangkitan dengan jenis generator induksi yang selama ini telah banyak dicoba, namun terkendala prasyarat kecepatan angin yang mesti relatif lebih tinggi

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tenaga Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tempat bertekanan tinggi menuju ke tempat bertekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Pergerakan ini disebabkan oleh pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain di panaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan dari radiasi matahari.

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 \text{ [Watt/m}^2\text{]} \quad (2.1)$$

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah,

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ [Watt]} \quad (2.2)$$

Angka 16/27 (=59.3%) ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor,  $\eta_{rotor}$  ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik. Maka daya yang dapat diserap oleh turbin angin menjadi:

$$P = \eta_{rotor} \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ [Watt]} \quad (2.3)$$

## 2.2 Turbin Angin

Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu. Pertama turbin angin Horizontal, yaitu Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya.

Kedua, turbin vertikal, yaitu Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah.

## 2.3 Rare-Earth Magnet

Rare earth magnet atau magnet neodmium adalah magnet permanen yang kuat terbuat dari paduan unsur tanah jarang (rare earth). Dikembangkan pertama kali pada 1970-an dan 80-an, rare-earth magnet adalah jenis yang terkuat dari magnet permanen yang dibuat, menghasilkan medan magnet secara signifikan lebih kuat dibandingkan jenis lain seperti ferit atau alnicomagnet.

Medan magnet biasanya diproduksi oleh jenis magnet ini bisa lebih dari 1,4 teslas, sedangkan magnet ferit atau keramik biasanya menunjukkan bidang 0,5 sampai 1 tesla. Ada dua jenis yaitu magnet neodmium dan magnet samarium-kobalt.

Magnet Neodymium (NdFeB, NIB, atau Neo magnet) adalah jenis magnet terkuat yang tidak terbentuk secara alami, tetapi melalui proses pencampuran antara neodmium, besi dan boron. Ciri-ciri utamanya adalah magnet ini berwarna putih mengkilap (chrome silver). Warna ini memang sengaja disepuhkan sebagai lapisan pelindung di bagian luar magnet Neodymium karena sifat magnet ini yang rentan korosi.

Dengan perkembangan fabrikasi yang semakin meluas, maka saat ini, jenis magnet ini banyak dipakai di berbagai peralatan, termasuk generator magnet permanen. Sehingga dengan dimensi yang lebih kecil, dapat dihasilkan daya listrik yang lebih besar dibanding bila menggunakan jenis magnet yang lain.

## 2.4 Potensi Energi Angin di Pesisir Indonesia

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dalam sebuah artikelnya tentang energi menegaskan bahwa potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/detik). Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa.

Penelitian yang lainnya, Hantoro, Ridho (2010), secara spesifik mengkaji kecepatan angin dan disain kincir khusus

untuk masyarakat pesisir. Selain itu diteliti juga pola konsumsi listrik konsumsi listrik masyarakat pesisir.

Daerah pantai merupakan salah satu tempat yang dapat dimanfaatkan secara maksimal sebagai daerah pengembangan energi terbarukan, dalam hal ini Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika, tentang penilaian potensi energi angin di Indonesia. Berikut merupakan data angin yang telah dihimpun tentang daerah yang mempunyai kecepatan angin rata-rata 3.5 m/s atau lebih:

Tabel 2.1. Data rata-rata kecepatan angin di beberapa daerah di Indonesia

No.	Nama Daerah	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Masa Bertiup Angin Di atas 4.0 m/s (%)
1	Blang Bintang	3.50	42.6
2	Tanjung Pinang	3.75	62.5
3	Tanjung Pandang	4.35	75.0
4	Pondok Betung	3.70	25.0
5	Margahayu	4.30	90.0
6	Rendole/Pati	5.30	84.8
7	Semarang	3.90	51.3
8	Iwahyudi	5.15	95.5
9	Kaliangit	4.15	65.6
10	Denpasar	4.03	59.5
11	Pasir Panjang	4.95	66.7
12	Kupang/Penfui	5.75	78.6
13	Waingapu	3.65	32.7

Sumber : Pusat Meteorologi dan Geofisika, 2000

Di bawah merupakan tabel data mengenai perkiraan potensi energi angin di Indonesia :

Tabel 2.2. Perkiraan potensi energi angin di beberapa pulau di Indonesia

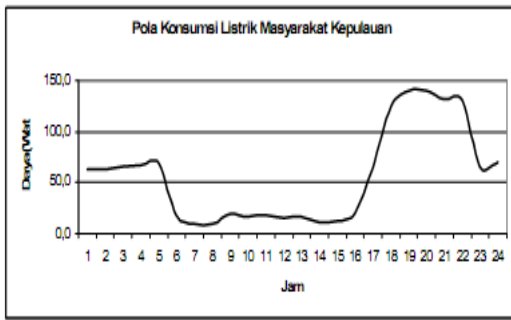
No.	Daerah	Luas WPEA (kilometer persegi)	Daya Listrik yang dapat dihasilkan (MW)
1.	Jawa	1200	9600
2.	Sumatra	1000	8000
3.	Kalimantan	600	4800
4.	Sulawesi	800	6400
5.	Nusa Tenggara	500	4000
6.	Lainnya	500	4000
	Jumlah	4600	36800

Sumber : majalah LAPAN No. 16 Tahun ke-4

Keterangan : WPEA = Wilayah Produksi Energi Angin

Dalam penelitian tersebut dilakukan penelitian langsung pada 2 (dua) lokasi yaitu Pulau Sapeken yang diambil sebagai representasi pulau kecil, dan pesisir Kenjeran sebagai daerah pesisir dari sebuah daratan yang cukup luas (Jawa). Data konsumsi masyarakat di daerah pesisir dan kepulauan dilakukan dengan survey kualitatif (wawancara dan pencatatan data). Data perkiraan dari beberapa responden ditampilkan dalam tabel berikut ini.

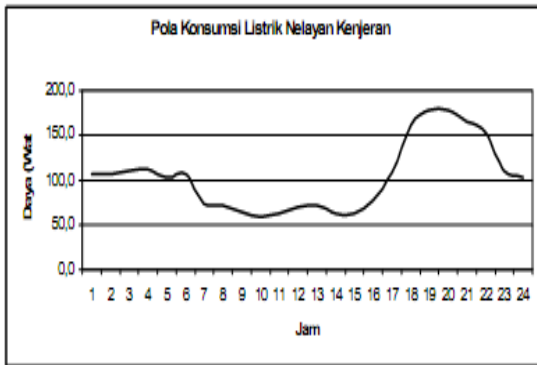
Data yang telah disajikan kemudian muncul sebagai pola konsumsi energi untuk komunitas masyarakat kepulauan/pesisir seperti terlihat pada grafik berikut ini.



Gambar 1. Grafik pola konsumsi masyarakat kepulauan [3]



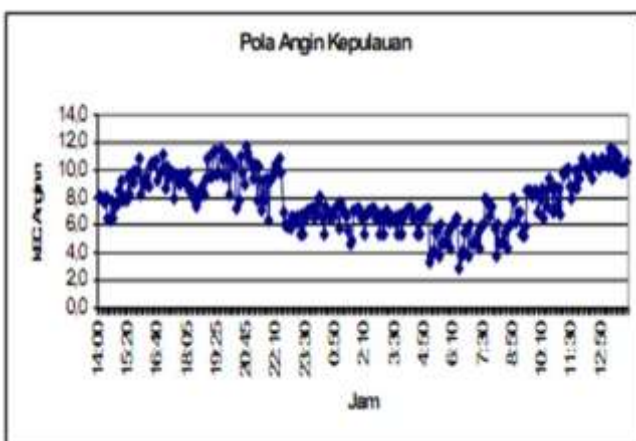
Gambar 4. Grafik pola angin Kenjeran [3]



Gambar 2. Grafik pola konsumsi masyarakat Kenjeran [3]

Dari gambar diatas terlihat pola konsumsi yang memiliki perbedaan signifikan pada besarnya konsumsi daya. Sedangkan pola dalam 1 hari aktifitas yang menggunakan daya listrik terdapat kemiripan trend pada waktu-waktu konsumsi daya naik dan turun. Konsumsi daya terbesar rata-rata terjadi antara pukul 18.00 s/s 23.00.

Pada penelitian ini pengukuran dilakukan pada variable kecepatan angin. Data pengukuran pada lokasi Pantai kenjeran & Pulau Sapeken Madura disajikan dalam grafik berikut :



Gambar 3. Grafik pola angin kepulauan Sapeken Madura [3]

Dari gambar 2.12 dan gambar 2.13 terlihat pola angin yang berbeda untuk bulan-bulan yang sama (agustus-september). Angin didaerah kepulauan (Pulau Sapeken) memiliki konsistensi harian yang lebih baik dibandingkan dengan didaerah pesisir (kenjeran). Pada lokasi Kenjeran terdapat jam-jam dimana angin tidak berhembus (nol), yaitu antara jam 02.00-08.00. Dibandingkan dengan kondisi angin di kepulauan pada jam-jam yang sama masih memberikan kontribusi kecepatan yang cukup untuk menghasilkan daya listrik.

### III. METODOLOGI

Dalam penelitiann ini, yang menjadi obyek utama pengamatan dan pengukuran adalah:

- Turbin angin dan generator set dengan eksitasi yang menggunakan magnet permanen jenis rare earth magnet (neodymium).
- Data kecepatan angin rata-rata beberapa wilayah Indonesia, untuk mengetahui apakah sistem ini bisa diterakan secara teknis maupun ekonomis. Data ini diperoleh dari kajian penelitian-penelitian terdahulu.

#### 3.1 Pengukuran Turbin-Generator Set

Pengukuran turbin-generator set dilakukan untuk menguji dan mengetahui karakteristiknya untuk berbagai kondisi kecepatan angin. Pengujian ini dilakukan di laboratorium mesin listrik. Pengukuran dan pengujian yang dilakukan antara lain adalah:

- Mengukur tegangan keluaran generator
- Mengukur arus maksimal generator
- Menghitung daya keluaran
- Menghitung efisensi keluaran turbin-generator set sebelum masuk ke sistem battery dan inverter

Spesifikasi teknis turbin-generator set

Turbin angin dan generator set yang digunakan dalam kegiatan ini tersedia dalam bentuk paket atau kit. Berikut ini adalah spesifikasi turbin-Generator set yang digunakan dalam penelitian ini.

Place of Origin	Jiangsu China (Mainland)	Brand Name:	NaiEr	Model Number:	NE-5-300M
Type:	Wind Power Generator	generator:	rare earth permanent magnet generator	rated power:	300w
rated voltage:	12/24V	axis:	horizontal	body material:	aluminium alloy
body color:	white	blades number:	6	blades color:	black / white/blue

#### Specifications

1. Low vibrations , Safety and performance stability
2. Government projects specified products
3. Authorized by the CE.ROSH I

Technical Data

Generator	Model	NE-300M
	Generator type	3 phase rare earth Permanent Magnet Generator
	Rated power	300W
	Maximum Power	330W
	Rated voltage	12/24V
	Generator net weight	24 Lb
	Service life blades	20-25years Nylon fiber
	Number of blades	6
	Wheel diameter	1.14 m
	Rated rotor speed	400r / m
	Start-up wind speed	2.0m / s
	Rated wind speed	11.0m / s
	Survival wind speed	55m / s
	Regulating way	Electronic magnet/yaw
	Lubricating	grease
Ambient temperature	-40 °F to 176 °F	
Can supply power for	Streetlights, homelights, fan, charger	
Guyed Tower	height	6M
	material	Galvanized seamless steel pipe
Control system	Controller.Inverter	
Suggested Batteries	1 * 12V 100AH / 2 * 12V 100AH	

Gambar 5. Spesifikasi Neodymium Wind Turbine Generator

3.2 Mengukur tegangan keluaran generator

Tegangan keluaran sebuah sistem pembangkit angin umumnya tidak konstan, namun berubah-ubah sesuai dengan fluktuasi kecepatan angin yang diterimanya. Untuk mendapatkan karakteristik keluaran tegangan untuk berbagai kecepatan angin yang terukur, maka dilakukan pengukuran di laboratorium. Kecatan angin didapatkan dengan perhitungan konversi kecepatan tangensial ke kecepatan rotasional. Dengan mengetahui kecepatan rotasional dari sudu-sudu (blade) turbin angin, maka kecepatan angin bisa didapatkan, dengan sebelumnya mengetahui Tip Speed Ratio (TSR).

Tip Speed Ratio (TSR) adalah faktor penting dalam disain sebuah turbin angin. TSR merupakan perbandingan antara kecepatan ujung blade turbin angin dengan kecepatan angin. Dirumuskan :

$$TSR (\lambda) = \frac{V_{Blade}}{V_{Angin}} \tag{3.1}$$

Dimana :

TSR = Tip Speed Ratio

$V_{blade}$  = Kecepatan ujung blade (m/det)

$V_{angin}$  = Kecepatan angin (m/det)

Jika rotor turbin angin berputar sangat lambat, maka sebagian besar angin berlalu secara langsung melalui celah antar blade, sehingga daya yang terekstrak sangat kecil atau bahkan tidak ada. Namun bila rotor turbin angin berputar terlalu cepat maka blade akan berlaku seperti dinding padat bagi angin yang ada. Selain itu juga, blade rotor menciptakan turbulensi saat mereka berputar. Hal ini dapat mengurangi secara drastis daya yang dapat diekstrak dari angin yang mengalir. Dengan demikian maka turbin angin

harus didisain secara optimal agar mendapatkan daya maksimal.

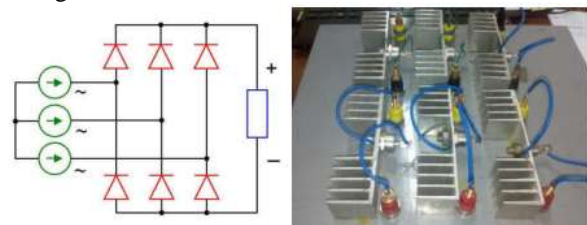
Untuk turbin angin yang diperuntukkan bagi daerah dengan kecepatan angin yang relatif tidak besar, maka biasanya dipakai turbin dengan jumlah blade banyak, misalnya 6, seperti yang digunakan pada penelitian ini. Berikut ini adalah nilai tipikal TSR yang optimum yang umum dipakai dalam sistem pembangkit listrik tenaga angin. Dari tabel tersebut maka dalam perhitungan selanjutnya digunakan nilai TSR = 2.

Tabel 3.1  
Nilai Tipikal TSR Optimum

Number of Blade	Optimum TSR
2	6
3	4-5
4	3
6	2

(Sumber : <http://www.nmpa.org>)

Tegangan keluaran dari generator magnet permanen turbin angin adalah tegangan bolak-balik 3 fasa, yang merupakan keluaran langsung dari stator generator. Bentuk gelombang tegangan dibuat 3 fasa umumnya ditujukan untuk mengoptimalkan keluaran generator. Penggunaan slip ring untuk menghasilkan tegangan dc umumnya sengaja dihindari untuk mengurangi rugi-rugi gesekan. Alasan lainnya adalah untuk menghindari perawatan yang lebih rumit, dikarenakan posisi generator yang berada di atas tiang penyangga. Agar bisa digunakan untuk men-charge battery nantinya maka tegangan bolak-balik AC ini perlu disearahkan menjadi tegangan searah atau DC. Skema penyearah yang dipakai dalam pengukuran ini adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Skema dasar dan foto penyearah 3 fasa

Tegangan keluaran generator ini diukur dalam dua kondisi yaitu dalam kondisi tanpa beban dan juga kondisi berbeban, untuk mengetahui karakteristik tegangannya. Dalam pelaksanaan pengujian generator turbin angin diputar dengan motor DC melalui melalui sebuah belt di laboratorium mesin listrik. Dengan menggunakan motor dc yang agar mudah diatur kecepatannya. Selanjutnya diukur tegangan keluaran generator untuk berbagai variasi rpm yang mensimulasikan kecepatan angin yang diterima oleh turbin. Dari kecepatan putar rotor generator, data diameter turbin, serta Tip Speed Ratio (TSR) maka kecepatan angin bisa dihitung. Pengujian langsung di lapangan tidaklah mungkin dilakukan untuk mendapatkan variasi kecepatan untuk satu waktu. Pendekatan lain yang lebih mendekati kondisi riil adalah menggunakan wind tunnel dan anemometer. Namun sayangnya peralatan ini belum tersedia di laboratorium mesin listrik.



Gambar 7. Pengukuran Tegangan keluaran generator turbin angin

Putaran rotor generator langsung diukur menggunakan sebuah tachometer digital. Sedangkan tegangan keluaran generator bisa langsung terbaca pada AVometer. Dari nilai rpm yang terbaca pada tachometer didapatkan  $n_{rotor}$  dalam rpm. Untuk mendapatkan kecepatan ujung blade  $v_{blade}$ , maka didapatkan dengan:

$$v_{blade} = \frac{2\pi r}{60} x n_{rotor} \quad (3.2)$$

Dari persamaan (4) dan (5) diperoleh :

$$TSR (\lambda) = \frac{V_{Blade}}{V_{Angin}}$$

$$V_{Angin} = \frac{V_{Blade}}{TSR} \quad (3.3)$$

Berikut ini adalah contoh perhitungan kecepatan angin dengan rumus di atas. Kecepatan rotor generator diputar tiap 50 rpm. Misalnya  $n_{rotor}$  sebesar 50 rpm, diameter baling-baling turbin angin adalah sebesar 1,14 meter, maka diperoleh:

$$v_{blade} = \frac{2\pi \cdot 0,57}{60} \times 50 = 2,98 \text{ m/det}$$

Maka pada kecepatan blade sebesar ini, kecepatan angin yang diterima turbin angin adalah sebesar:

$$V_{Angin} = \frac{V_{Blade}}{TSR}$$

$$V_{Angin} = \frac{2,98}{2} = 1,49 \text{ m/det}$$

Hasilnya perhitungan menggunakan spreadsheet selengkapnya kecepatan angin dan juga tegangan keluaran penyearah tersaji dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.2 Pengukuran tegangan tanpa beban generator

No.	Brate (rpm)	V <sub>blade</sub> (m/s)	V <sub>Angin</sub>	Tegangan (Volt)
1	50	2.9	1,49	2.0
2	100	5.9	2,6	5.9
3	150	8.85	4,43	7.0
4	200	11.8	5,9	7.8
5	250	14.75	7,4	9.0

### 3.3 Mengukur arus keluaran generator

Selanjutnya dilakukan pengukuran arus keluaran generator. Arus keluaran yang dihasilkan oleh generator ini diukur dengan menggunakan beban linier berupa lampu pijar. Dan data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Arus keluaran generator turbin angin

No.	Brate (rpm)	V <sub>angin</sub> (m/s)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	50	1,49	2.0	0.95
2	100	2,6	5.9	1.59
3	150	4,43	7.0	7.03
4	200	5,9	7.8	10.29
5	250	7,4	9.0	11.84

### 3.4 Menghitung daya keluaran

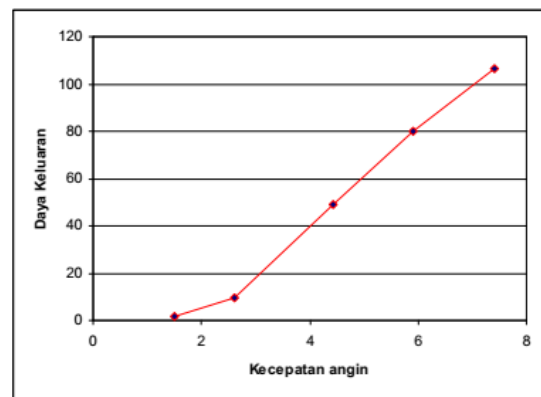
Daya keluaran yang dihasilkan oleh generator didapatkan dengan perkalian tegangan dengan arus. Daya maksimum generator untuk berbagai variasi kecepatan angin adalah perkalian tegangan beban dengan arus yang terukur dengan amperemeter.

Hasil perhitungan daya keluaran generator untuk berbagai variasi kecepatan angin adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Daya Generator untuk berbagai variasi kecepatan angin

No.	V <sub>angin</sub> (m/s)	P <sub>generator</sub> (Watt)
1	1,49	1.9
2	2,6	9.4
3	4,43	49.2
4	5,9	80.24
5	7,4	106.6

Bila digambarkan secara grafis, maka didapatkan hubungan kecepatan angin dengan daya keluaran maksimum sebagai berikut ini:



Gambar 8. Daya keluaran generator sebagai fungsi kecepatan angin

### 3.5 Menghitung efisiensi keluaran turbin-generator set

Sebuah sistem pembangkit memiliki efisiensi total, yang merupakan perkalian dari efisiensi tiap-tiap bagian yang menyusun sistem itu, mulai dari turbin angin, generator, charging controller, battery, dan inverter. Dalam penelitian ini, dibatasi pada perhitungan efisiensi pada turbin angin dan keluaran generator yang berbasis eksitasi magnet permanen jenis neodmium. Sedangkan efisiensi charging controller, battery dan inverter dalam penelitian ini tidak dihitung. Fokus penelitian ini adalah mengetahui apakah kapasitas yang dihasilkan dari oleh turbin angin dan generator set dengan eksitasi magnet permanen jenis neodmium, bisa digunakan atau layak sebagai sumber daya listrik stand alone untuk daerah pesisir Indonesia.

Daya yang dihasilkan oleh angin atau available wind power dapat dihitung dengan persamaan (2.2) , yaitu:

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ [Watt]}$$

Dimana:

$\rho$  = kepadatan udara (kg/m<sup>3</sup>)

C = performance coefficient

A = luasan baling-baling turbin angin (m<sup>2</sup>)

V = kecepatan angin (m/s)

Nilai kepadatan udara yang umum dipakai adalah kepadatan udara pesisir atau pantai dengan nilai 1,28 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan koefisien performance turbin atau konstanta Betz yang umum dipakai adalah sebesar 0,3 dari nilai maksimal sebesar 0,59. Luasan baling-baling didapatkan dari luasan yang disapu oleh baling-baling yang diameternya 1,14 meter. Dengan bantuan spreadsheet, maka didapatkan perhitungan seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.5 Ekstraksi Daya Angin Tersedia menjadi daya generator

V <sub>angin</sub> (m/s)	Wind Power (Watt)	P <sub>generator</sub> (Watt)	Efisiensi (%)
1.49	2.03	1.9	93.49
2.6	10.80	9.4	87.05
4.43	53.41	49.2	92.11
5.9	126.18	80.24	63.59
7.4	248.97	106.6	42.82

Dari tabel di atas tampak bahwa efisiensi turbin angin dan generator secara bersama-sama cukup tinggi. Dengan bertambahnya putaran, wind power semakin besar karena berbanding dengan pangkat tiga kecepatan angin, namun daya yang terbangkitkan tidak meningkat tajam. Hal ini tentu saja berhubungan dengan kapasitas pembangkitan generator.

### 3.6 Pemanfaatan untuk Daerah Pesisir

Untuk mendapatkan gambaran kelayakan penggunaan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil rumah tangga, maka dilakukan juga kajian potensi angin yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya dengan hasil pengukuran yang dilakukan di atas. Dengan demikian maka akan dapat diketahui seberapa layak turbin angin dan generator set jenis ini digunakan. Layak di sini bukanlah bisa atau tidak bisa, namun lebih pada mengetahui beban-beban rumah tangga apa yang bisa dicatu serta apa yang mesti dilakukan untuk mendapatkan derajat kelayakan yang lebih tinggi.

Dari uraian potensi energi angin di daerah pesisir Indonesia, maka diketahui beberapa fakta bahwa, pertama, beberapa wilayah pesisir wilayah Indonesia umumnya memiliki kecepatan angin yang relatif tinggi dibandingkan dengan wilayah lain. Kedua, tingkat penyebaran fasilitas penyediaan sumber energi baik bahan minyak maupun listrik masih belum merata, terutama untuk pulau-pulau kecil, meskipun pemerintah terus berupaya meningkatkan ratio elektrifikasi di Indonesia. Pilihan sumber tenaga listrik *stand alone* menjadi sangat relevan.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini, maka diketahui 2 hal utama yang menjadi fokus dari penelitian ini. Pertama adalah seberapa besar kapasitas daya yang secara

teknis mampu dibangkitkan oleh turbin angin dan generator berbahan eksitasi magnet neodmium skala kecil 300 Watt, dengan berbagai variasi kecepatan angin. Yang kedua, dari kajian penelitian-penelitian terdahulu tentang potensi angin di Indonesia, terutama wilayah pesisir. Dari 2 hal tersebut maka dapat diketahui seberapa layak sistem pembangkitan listrik skala kecil dan stand alone ini bisa bermanfaat bagi kelistrikan rumah tangga.

Untuk lebih jauh mengetahui, maka berikut ini adalah gambaran kelayakan dari daya terbangkitkan terhadap perkiraan kebutuhan listrik rumah tangga.

### 4.1 Beban Rumah Tangga

Beban rumah tangga bisa sangat bervariasi, terutama untuk masyarakat perkotaan. Namun bagi penduduk pesisir daerah kepulauan relatif berbeda. Dapat dikatakan bahwa kebutuhan listrik penduduk pesisir pulau terpencil lebih sederhana dari pada pendudukan perkotaan.

Berikut ini adalah beban-beban listrik yang umum dipakai oleh rumah tangga secara umum. Perlu diingat bahwa penggunaan listrik untuk beban-beban di atas tidaklah kontinyu 24 jam, namun bervariasi, terutama durasi penggunaannya.

Tabel 4.1 Perkiraan besar daya peralatan rumah tangga

No.	Nama Peralatan	Jenis	Tipikal Daya (Watt)
1	Lampu Penerangan	Pijar	10-40
		Hemat Energi	15-20
		LED	8-18
2	TV	CRT	100
		LCD	50
		LED	40
3	Pompa Air	-	150-200
4	Lemari Es	-	60-100
5	Laptop	-	50
6	Charger HP, Laptop, dll	-	20-80

### 4.2 Kapasitas Battery

Sementara itu besar kapasitas energi, dalam kWh, yang bisa disimpan dalam battery dari sistem turbin angin dan generatornya dapat dihitung dengan cara yang sederhana. Di asumsikan bahwa kapasitas battery adalah 100 Ah dengan tegangan kerja 12 Volt. Dengan kapasitas sebesar ini berarti bahwa battery bisa menanggung beban 1200 Watt dalam waktu 1 jam, 600 Watt dalam 2 jam, 400 Watt dalam 3 jam, dan seterusnya. Misalkan daya yang dibangkitkan oleh sistem turbin angin adalah sebesar 80 Watt, maka dalam 24 jam energi yang bisa disimpan adalah sebesar 80x24 = 1920 Watt jam. Dalam pengisian battery, untuk menjaga lifetime battery agar bertahan lama, sangat disarankan men-charge battery saat kapasitas terpakainya 80% atau tersisa 20%. Dengan demikian maka, kapasitas normal yang bisa digunakan dari 1920 adalah sebesar 80% dari 1920 yaitu 1536 Watt. Dengan kapasitas sebesar ini maka bisa digunakan satu atau dua buah battery berkapasitas 100 Ah.

### 4.3 Demand Side Management

Upaya konservasi energi bisa dilakukan dari 2 sisi, yaitu upaya pembangkitan energi (supply side management) dan juga penggunaan di sisi konsumen

(demand side management). Penggunaan energi angin adalah salah satu upaya jenis pertama. Upaya ini bisa ditingkatkan misalnya dengan menggabungkannya dengan pembangkitan dengan sumber energi lain, misalnya tenaga surya, mikrohidro, biogas, dan lain-lain. Sedangkan upaya kedua adalah dengan mengatur sedemikian rupa sehingga pemakaian energi bisa dihemat.

Dengan mengatur penggunaan listrik yang baik dan hemat, misal dengan menggunakan lampu yang hemat, TV jenis non-CRT, mengatur ventilasi dan pencahayaan sehingga menghindari beban-beban yang tidak benar-benar diperlukan, dan berbagai strategi konservasi energi di sisi konsumen (demand side management) maka kapasitas di atas relatif memadai.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan pemahasan di atas maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain adalah:

- Turbin angin dengan generator bereksitasi magnet permanen jenis neodymium dapat membangkitkan daya cukup memadai pada kecepatan 4.43 m/s dan 5.9 m/s masing-masing dengan daya keluaran sebesar 49.2 Watt dan 80.24 Watt.
- Beberapa daerah pesisir terutama di Indonesia berpotensi menerapkan teknologi ini sebagai sumber daya listrik stand alone untuk rumah tangga
- Dibutuhkan pemilihan beban listrik berdaya hemat dan pengatutan waktu pemakaian agar penggunaan sistem ini bisa optimal.

### 5.2 Saran

Agar didapatkan manfaat yang lebih besar, maka berikut ini adalah beberapa saran untuk perbaikan penelitian yang sama atau sejenis untuk masa yang akan datang.

- Pengukuran sistem turbin dan generator menggunakan alat ukur anemometer dan wind tunnel sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat
- Perhitungan efisiensi dilakukan sampai dengan tahap beban yang sesungguhnya, dengan berbagai jenis dan merek charging controller, battery, inverter serta variasi beban.
- Penggunaan bersama dengan pembangkit alternatif lain (hibrid).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eriksson, Sandra- Hans Bernhoff (2012), Rotor Design for PM Generators Reflecting the Unstable Neodymium Price, IEEE
- [2] Fachri, Muhammad Rizal dan Hendrayana, (2017), Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh, CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro, Vol.1, No.1, Februari 2017.
- [3] Hantoro, Ridho, (2007), Turbin Angin Sebagai Penyedia Energi yang Berkelanjutan untuk Kepulauan Indonesia, Report Research, Research Institutions and Community Service, ITS-Surabaya.
- [4] Muchsin, Ismail ST, MT (2010), Elektronika Dan Energi Listrik, Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB
- [5] Siti Chadidjah – Wiyoto, (2011), "Konsep Teknologi Renewable Energy", Genta Pustaka, Jakarta.
- [6] Wan Mahadi, W. N. L., S. R. Adi and K. M. Nor (2004) Thermal Analysis of Neodymium Iron Boron (NdFeB) Magnet In The Linier Generator Design, Department of Electrical Engineering University of Malaya
- [7] Y. Daryanto, (2007), Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, BALAI PPTAGG, Yogyakarta

Halaman ini sengaja dikosongkan