

APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK RUMAH TANGGA

Abu Hasan,S.T,M.T,DR.Sidiq H,S.T,M.T, Sri Anggraeni,S.T,M.T, Ir.Endro W, M. Kom

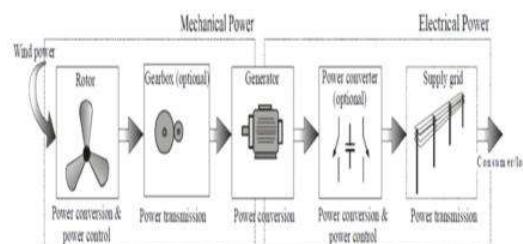
Abstract

Electric energy generation that converts wind motion energy into electrical energy. The potential of wind in Indonesia's geographic region is potentially because Indonesia's territory has a long coastline. Wind power plant is known as the Bayu Power Plant (PLTB), therefore in this article the term of PLTB that will be used in the name of wind power plant. Research team of the Politeknik Negeri Semarang This opportunity to examine the PLTB for households with power on a larger scale of 500 watts. The Methode performed is experiment by conducting a test measurement of the components of the component without load and load laboratory scale. As well as a no-load PLTB system measurement at housing Dinar Mas Meteseh. Tangnga House PLTB System consists of component components, vertical turbine as converting kinetic power of angina to power Power 500 Watt, DC to DC Converter functioned electrical power for charging battery storage and controlling voltage Turbine output with input 9 v S/d 30 and output 12 V, Power 500 watt. And Inverter component that works to provide DC power source from battery to power source according to mesh mesh with 12 volt input and 220 volt 500 watt output. The output of the PLTB system is the output of the end that is the result of all the integrase components of the PLTB system forming. The output power analysis is made by ignoring the losses on the subsystem (components). Acquired PLTB measurement with output power percentage of nominal power ranging from 95.1% up to 100%.

Pendahuluan

PLTB bekerja berdasarkan energy gerak angin/kinetik yang ditransformasikan ke Energi Listrik . Komponen penangkap angin yang disebut turbin angin, bergerak sesuai dengan intensitas energy gerak angin yang mengenai permukaan sirip/blade. Gerakan Sirip/Blade mengakibatkan rotor dari turbin berputar. Putaran rotor diteruskan ke rotor generator, menimbulkan gaya gerak listrik(ggl) pada terminal keluaran generator. Karena kecepatan angin berubah ubah kadang cepat atau lemah maka diperlukan penguatan atau pelemahan kecepatan putar rotor generator. Komponen penguat atau pelemah putaran rotor dilakukan oleh

gearbox . Gearbox mentransmisikan energy kinetik dari rotor turbin ke rotor generator, dengan menguatkan atau melemahkan sesuai dengan kecepatan angin dan karakteristik generator. Dengan demikian secara mekanik turbin dan generator aman, sedangkan secara elektrik keluaran generator tidak akan melampau batas maksimum.



Gambar.1 System Konversi Energi Angin Ke Energi Listrik.

Keluaran generator adalah gaya gerak listrik (ggl) induksi dari rotor ke stator generator. GGL induksi yang dihasilkan dapat berbentuk sinyal Alternating Current (AC) atau Direct Current dengan level tegangan sesuai karakteristik generator. Apabila tegangan listrik keluaran generator berbentuk AC maka diperlukan transformasi AC ke DC, supaya energy listrik dapat disimpan kedalam aki. Demikian juga pada saat keluaran generator sebagai sinyal DC, maka diperlukan konversi DC ke AC untuk menyesuaikan tegangan aki storage dan pengontrolan rotor/kecepatan putar rotor. Kemudian energy listrik melalui saluran transmisi diteruskan ke beban, setelah dilakukan konversi dari DC ke AC oleh komponen inverter DC to AC. Mekanisme tersebut digambarkan pada sistem PLTB gambar .1

Perhitungan Power Pada Turbin Angin

Turbin Angin bekerja dengan mengkonversikan energy kinetik yang mengenainya kedalam energy listrik pada rotor yang berputar didalam generator. Perhitungan power yang dihasilkan oleh turbin aksis horizontal (HAWT) secara matematik dapat dituliskan sbb:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = F.s = m.a.s \dots\dots(1)$$

E_k = Energi Kinetik (Joule); m = masa (kg) ; v = Kecepatan gerak angin (m/s) ; F = gaya (Newton)

a = percepatan gerak angin (m/s^2) ; s = Jarak (m).

Power pada angin adalah perubahan energy sehingga

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} v^2 \frac{dm}{dt}$$
 diperoleh :

(2) ; P = Power Listrik (watt); dE/dt = laju energy terhadap perubahan waktu; dm/dt laju aliran masa terhadap perubahan waktu.

Dengan laju aliran masa dinyatakan sebagai:

$$Dx/dt = v \text{ sehingga :}$$

$$\frac{dm}{dt} = \rho Av$$

Oleh karena itu persamaan (2) dengan mensubtitusi laju perubahan masa menjadi:

$$\dots(3) ; \rho = \text{density (kg/m}^3)$$

Berdasarkan Hukum Betz bahwa tidak ada turbin angin yang dapat mengkonversikan energy kinetik ke energy mekanik dirotornya dengan efisiensi melebihi 59% , sehingga diberikanlah koefisien turbin angina sebesar 0,59 yang didefinisikan sebagai :

$$C_{p_{max}} = 0.59$$

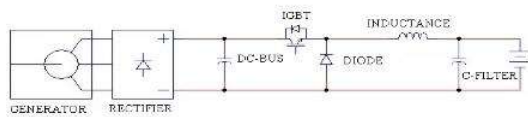
Sehingga daya listri yang dapat dihasilkan dari energy kinetic angina pada turbin menjadi :

$$P_{avail} = \frac{1}{2} \rho Av^3 C_p \dots (4)$$

Untuk turbin dengan aksis vertikal maka daya yang dihasilkan hasil dari kerapatan angin pada media ruang sehingga rumusan (4) variable A tidak lagi sama dengan

luasan ($A = \pi r^2$), tetapi menjadi Volume turbin yang besar A dikalikan h (ketinggian blade).

Konverter DC to DC



Gambar 2. Skematik diagram Konverter DC to DC

Keluaran Generator oleh rectifier disearahkan menjadi tegangan DC ,kemudian oleh rangkaian switching dengan komponen utama IGBT dikonversikan ketegangan DC yang bersesuaian dengan Tegangan Aki penyimpan. Pengubah daya DC-DC (DC-DC Converter) tipe peralihan atau dikenal juga dengan sebutan *DC Chopper* dimanfaatkan terutama untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan pada beban. Pada dasarnya, penghasilan tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah switch (solid state electronic switch) seperti misalnya Thyristor, MOSFET, IGBT, GTO. Secara umum ada dua fungsi pengoperasian dari DC Chopper yaitu penaikan tegangan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, dan penurunan

tegangan dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan. Konverter DC-DC berlaku seperti halnya trafo/*transformer* yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan AC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Tidak ada peningkatan ataupun pengurangan daya masukan selama pengkonversian bentuk energi listriknya, sehingga secara ideal persamaan dayanya dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

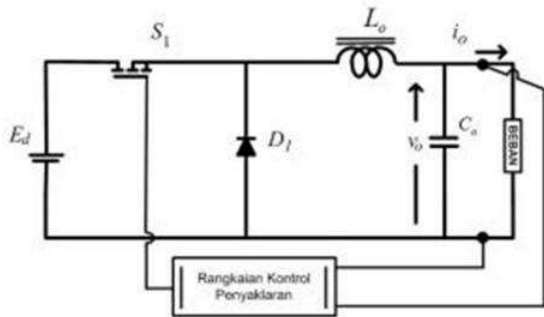
$$P_{in} = P_{out} + P_{losses}$$

Konverter DC-DC dapat dibagi menjadi 2 kategori besar, yaitu yang terisolasi dan yang tak terisolasi. Kata 'isolasi' disini secara sederhana bermakna adanya penggunaan trafo (isolasi galvanis) antara tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter DC-DC. Beberapa sumber menyebutkan bahwa konverter DC-DC yang tak terisolasi dengan istilah *direct converter*, dan konverter yang terisolasi dengan istilah *indirect converter*.

TOPOLOGI PENURUN TEGANGAN (*BUCK CONVERTER*)

[Konverter Jenis Buck](#) merupakan konverter penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2, rangkaian ini terdiri terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (diode),

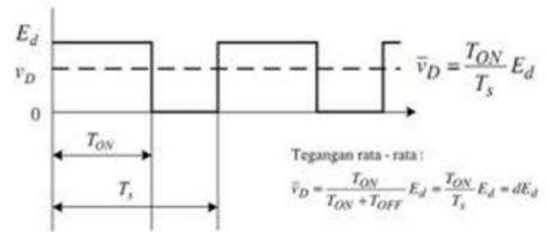
kapasitor dan induktor sebagai tapis keluarannya.



Gambar 3. Rangkaian konverter DC-DC tipe *buck*

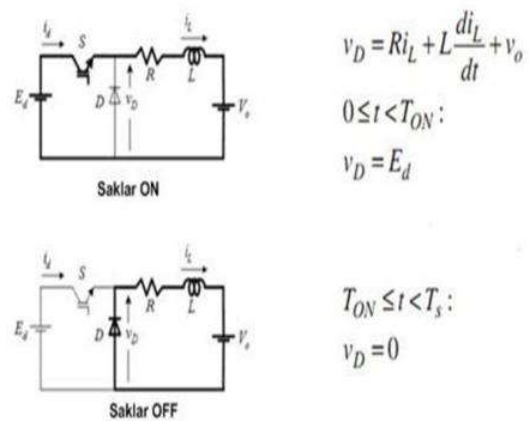
Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif (dioda) sering diganti dengan saklar aktif (MOSFET) sehingga susut daya pada saklar bisa dikurangi. Apabila menggunakan 2 saklar aktif, kedua saklar ini akan bekerja secara bergantian, dan hanya ada satu saklar yang menutup setiap saat. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar (saklar konduksi/ON) terhadap periode penyaklarannya. Biasanya nilai faktor daya ini tidak lebih kecil dari 0.2, karena jika dioperasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja dibawah keandalannya dan menyebabkan efisiensi konverter turun. Untuk rasio (V_d/E_d) yang sangat tinggi, biasanya digunakan konverter DC-DC yang terisolasi atau topologi yang dilengkapi dengan trafo.

Tegangan rata-rata *buck converter*



Gambar 4 Tegangan Keluaran Buck Konverter

Persamaan tegangan *buck converter*



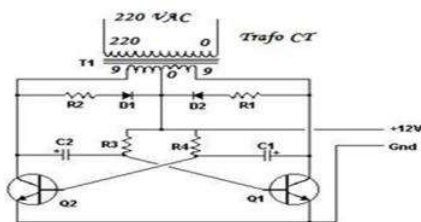
Gambar 5. Kondisi Saklar on off

Analisis riak arus keluaran diperlukan untuk bisa mendesain tapis atau filter keluaran konverter DC-DC. Dari persamaan di bawah ini, terlihat bahwa untuk mendapatkan riak arus keluaran konverter *buck* yang kecil, diperlukan tapis induktor (L) yang nilainya akan semakin kecil dengan meningkatkan frekuensi penyaklaran. Riak arus keluaran konverter DC-DC akan bernilai maksimum apabila konverter bekerja pada *duty cycle* (d) = 0,5.

Gambar dibawah ini adalah kondisi arus yang mengalir di tapis induktor pada saat konverter DC-DC bekerja pada kondisi kritis. Yang dimaksud dengan kondisi kritis disini adalah kondisi dimana arus di induktor mengalir ke beban sampai tepat bernilai nol pada saat saklar OFF, atau induktor bekerja sebagai sumber arus. Terlihat bahwa arus yang mengalir di induktor sebanding dengan nilai dari riak arus keluaran. Pada kondisi ini, dari gambar terlihat bahwa nilai riak arus keluaran rata-rata sebanding dengan 1/2 riak arus puncak ke puncak.

Inverter DC to AC

Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC (Alternating Current). Output suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (sine wave), gelombang kotak (square wave) dan sinus modifikasi (sine wave modified). Inverter dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik

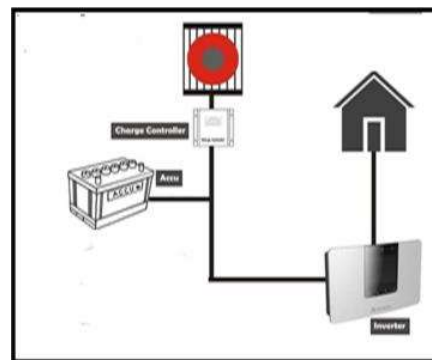


tegangan berupa step up transformer. Rangkaian dasar inverter yang sederhana dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 5. Rangkaian Inverter DC to AC

Pada saat transistor Q1 mengalami *cut off* atau terbuka kapasitor C1 akan melakukan pengisian dan kapasitor C2 akan

melakukan pelepasan muatan serta Q2 akan aktif dan mengalir ke D1, kemudian pada saat transistor Q1 aktif maka C1 akan melakukan pelepasan muatan melalui kolektor Q1 ke ground. Sedangkan fungsi diode pada rangkaian adalah saklar yang akan ON jika potensial pada anoda lebih positif daripada potensial pada katoda dan dioda akan memblok OFF jika potensial pada anoda lebih negatif daripada potensial pada katoda. Pengaruh kerja transistor ini membuat gerakan osilasi pada transformator sehingga menyebabkan terjadi gerakan arus bolak-balik atau *AC/Alternating Current*. Kemudian, dengan menggunakan transformator Step Up maka besarnya tegangan pada primer akan dikuatkan (dinaikkan) pada bagian sekunder di transformator, maka terbentuklah tegangan 220 Volt AC.



Sistem PLTB

Sistem PLTB yang diterapkan dalam penelitian ini adalah seperti gambar 6.

Gambar 6. Sistem PLTB untuk Rumah Tangga.

Sistem PLTB terdiri dari komponen komponen :

- a. Turbin vertikal sebagai pengkonversi tenaga kinetik angin ke tenaga Listrik.
- b. Konverter DC ke DC berfungsi penyedia tenaga listrik untuk pengisian aki penyimpanan dan pengontrol tegangan keluaran turbin.
- c. Power Wall menyediakan mekanisme Swieth breaker antara keleuaran beban dan Penyimpanan aki.
- d. Inverter komponen yang bekerja untuk menyediakan sumber listrik DC dari aki menjadi sumber Listrik sesuai dengan Jala Jala.
- e. Aki merupakan komponen penyimpan Energi Listrik yang telah dibangkitkan oleh generator pada turbin angin.



Turbin Vertikal PLTB

Gambar 7. Turbin Vertikal PLTB.

500 W domestik sumbu vertikal turbin angin adalah jenis turbin angin dimana rotor utama poros set vertikal dan komponen utama terletak di dasar turbin. VAWTs menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan tradisional horisontal sumbu turbin angin (HAWTs). Mereka bisa dikemas lebih dekat di peternakan angin, memungkinkan lebih banyak di ruang yang diberikan. Mereka lebih kecil, melainkan karena memperlambat efek pada udara yang

HAWTs miliki, memaksa desainer untuk memisahkan mereka dengan sepuluh kali lebar.

GreeF 500 W domestik sumbu vertikal turbin angin yang kasar, tenang, ringan, omni-directional, dan mereka tidak menciptakan banyak tekanan pada struktur pendukung. Mereka tidak memerlukan angin untuk menghasilkan tenaga, sehingga memungkinkan mereka untuk lebih dekat ke tanah. Dengan menjadi lebih dekat ke tanah mereka mudah dipelihara dan bisa dipasang di atap dan permukaan tanah struktur tinggi. Direkomendasikan untuk Rumah tangga , Taman , dan farm.

Data teknis

Model	GV-500W
Dinilai Daya (W)	500 W
Maksimum Daya (W)	650 W
Dinilai Rotor Kecepatan (rpm)	200
Torsi awal (N.M)	<0.3
Pisau Tinggi (M)	1.5
Pisau Rotor Diameter	1.6
Blades Bahan & Quantitiy	FRP/3 pcs
Mulai Kecepatan Angin (m/s)	1 m/s
Dinilai Kecepatan Angin (m/s)	10 m/s
Kerja Kecepatan Angin (m/s)	2-25 m/s
Keamanan Kecepatan Angin (m/s)	50 M/S
Pilihan Tegangan (V)	12-24 V

Konverter DC to DC



Gambar 7. Konverter DC to DC untuk PLTB

Features

- 4:1 Input voltage range of 9-36V
- Single outputs of 12V, 24V or 28V
- 2250V Isolation voltage (Input-to-Output)
- Industry Standard half brick package
- 2.4" x 2.5" x 0.52" (61mm x 64mm x 13.2mm)
- Efficiency up to 95.7%
- Excellent thermal performance
- Over-Current and Short Circuit Protection
- Over-Temperature protection
- Monotonic startup into pre-bias loads
- 200kHz Fixed switching frequency
- Remote On/Off control (Positive or Negative logic)
- Good shock and vibration damping
- Operating Temperature Range -40°C to +105°C
- RoHS Compliant

Konverter dapat mengkonversikan dengan Tegangan output 12 V, 24 Volt dan 28 volt, dengan input dari 9 V hingga 36 Volt. daya input sebesar 500 watt.

Inverter DC to AC

Inverter ini dapat menghasilkan daya 500 watt dengan tegangan 220 volt, sangat bersesuaian dengan beban yang berasal dari



Gambar 8. Inverter DC to AC PLTB

sumber tenaga listrik PLN. Input inverter sebesar 12 volt, sangat ideal untuk aki yang digunakan pada penyimpanan energy listrik PLTB.

Kelebihan:

- * Ada LED Indikator ON, untuk mengetahui alat ini bekerja
- * Inverter otomatis OFF jika kelebihan beban / shoot pd output.
- * Tak berisik, tdk berasap, tdk pakai bahan bakar & hemat biaya.
- * Listrik yang di hasilkan lebih stabil, sehingga tidak merusak peralatan

Penyimpan Energi Listrik



Gambar 9. Gambar Aki Penyimpan Energi Listrik

Battery VRLA Panasonic 65 Ah 12 V merupakan battery VRLA (Valve Regulated Lead-Acid) yang bisa di charging kembali dengan desain yang tahan dengan kelebihan charging, overcharge, dan kondisi getaran-getaran yang yang mengganggu dari luar sistem.

Battery VRLA Panasonic ini sangat cocok untuk system SHS atau PLTB yang menggunakan sistem Off Grid.

Baterai kering Panasonic merupakan baterai VRLA yang bisa di charging kembali dengan desain yang tahan dengan kelebihan charging, overcharge, dan kondisi getaran getaran yang yang mengganggu dari luar sistem. Dengan bentuk yang kompak sehingga bisa menghemat tempat dan sangat efisien. Keluaran daya sebesar 12 x 65 Ah sama dengan 730 WAh.

Perhitungan Power Listrik Pada Turbin

Power Listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTB dengan turb in vertikal dipengaruhi oleh volume dari kincir, oleh karena itu hitungan ini berdasarkan rumusan dari Vertikal Turbin Ass/rotor. Spesifikasi VWTS dengan asumsi kecepatan angin rata 10 m/s diperoleh :

$$PT = \frac{1}{2} * \rho * A * h * v^3 * Cp = \frac{1}{2} * 1 * x$$

$$= 2 * 3,14 * 0,8^2 * 1,5 * 0,34 * 10$$

$$= 512,45 \text{ watt}$$

dalam variasi kecepatan angin dari 3 m/s

listrik seperti tabel 5.2 hasil perhitungan daya yang dikonversikan oleh turbin PLTB.

	P (kg/ m ³)	A (m ²)	H (m)	V (m/s)	Cp	P (Watt)
1	1	2,01	1,5	3	0,34	27,8
2	1	2,01	1,5	5	0,34	64,1
3	1	2,01	1,5	8	0,34	262,4
4	1	2,01	1,5	10	0,34	512,5
5	1	2,01	1,5	12	0,34	885,5
6	1	2,01	1,5	13	0,34	1125,9
7	1	2,01	1,5	15	0,34	1729,5
8	1	2,01	1,5	17	0,34	2517,7
9	1	2,01	1,5	19	0,34	3514,9
10	1	2,01	1,5	20	0,34	4099,6
11	1	2,01	1,5	21	0,34	4745,8
12	1	2,01	1,5	22	0,34	5456,5

Tabel 1. Perhitungan Daya Listrik Turbin

Pengukuran Konverter

Pengukuran pada converter dilakukan dengan pemberian masukan pada converter tegangan dc dengan variasi dari 9 volt sampai dengan 30 volt tanpa beban dan berbeban 500 watt Rheostat Perangkat yang diperlukan dalam pengukuran yaitu:

No	Vin	Tanpa Beban		Berbeban 500 watt	
		Vout (V)	I out (A)	Vout (V)	I out (A)
1	9,0	0	0	0	0
2	9,5	0	0	0	0
3	10,0	220	0	218	1,606
4	10,5	220	0	218	1,674
5	11,0	220	0	218	1,743
6	11,5	224	0	220	1,809
7	12,0	224	0	220	1,809
8	12,5	224	0	220	1,809
9	13,0	224	0	220	2,055
10	13,5	224	0	220	2,055
11	14,0	224	0	220	2,055
12	14,5	224	0	220	2,055
13	15,0	0	0	0	0

Tabel 2. Data Pengukuran Konverter

Pengukuran Inverter

No	Waktu (Jam)	Tanpa Beban
		Vout (V)
1	11.00	11.2
2	11.05	12.0
3	11.10	11.2
4	11.15	11.2
5	11.20	12.0
6	11.25	11.0
7	11.30	11.4
8	11.35	11.2
9	11.40	12.0
10	11.45	11.2
12	11.50	10.0

Tabel 3. Data Pengukuran Inverter

Pengukuran Keluaran Turbin

No	Waktu (Jam)	Tanpa Beban
		Vout (V)
1	11.00	205,3
2	11.05	220
3	11.10	205,3
4	11.15	205,3
5	11.20	220
6	11.25	210
7	11.30	205,3
8	11.35	205,3
9	11.40	220
10	11.45	205,3
12	11.50	218,0

Tabel 4. Data Pengukuran Keluaran Turbin Tanpa Beban

Data pengukuran diambil pada saat kondisi angin mengalir sangat cepat , dengan harapan memperoleh keluaran yang maksimal. Pengukuran tanpa beban yang dimaksud adalah pengukuran keluaran turbin pada saat tidak terkoneksi dengan komponen lainnya pada sistem PLTB.

Pengukuran Keluaran Sistem PLTB

Komponen Komponen sistem PLTB dirangkai menjadi satu kesatuan sistem. Kemudian dilakukan pengukuran keluaran sistem PLTB dalam kondisi belum terkoneksi ke beban. Beban sebenarnya pada sistem PLTB rumah tangga adalah jaringan listrik perumahan yang dikoneksikan setelah meter milik PLN. Pengambilan data pada keadaan kecepatan angin besar sehingga diperoleh unjuk kerja maksimal sistem.

No	Vin	Tanpa Beban		Berbeban 500 watt	
		Vout (V)	I out (A)	Vout (V)	I out (A)
1	8	0	0	0	0
2	9	11,64	0	11,6	30,07
3	10	11,68	0	11,64	34,25
4	11	11,88	0	11,68	37,50
5	12	12,00	0	12,00	37,50
6	15	12,00	0	12,00	37,50
7	18	12,00	0	12,00	37,50
8	21	12,20	0	12,00	37,50
9	24	12,22	0	12,00	37,50

Tabel 5. Data Pengukuran Keluaran sistem PLTB

Analisa Data Penelitian

Kajian analisa data penelitian berfokus pada bagaimana unjuk kerja komponen-komponen sistem PLTB dalam menghasilkan power energi listrik (daya listrik). Data hasil pengukuran ditinjau secara teoritis dan dikomparasi dengan datasheet komponen tersebut. Dengan demikian dapat diperoleh kajian kelayakan terhadap komponen komponen sistem PLTB yang jadi objek penelitian.

Analisa Keluaran Konverter

Berdasarkan spesifikasi teknis konverter bekerja pada tegangan input 0 volt sampai dengan 36 volt dan tegangan treshold 8,5 volt dan breakdown pada keluaran 15,5 volt. Sedangkan keluaran konverter pada tegangan nominal 12 volt dan daya nominal 500 watt . Dengan masukan tegangan yang disesuaikan spesifikasi teknis diperoleh data seperti tabel .2 yang dapat digunakan sebagai perhitungan daya keluaran konverter DC to DC sebagai berikut :

$P_o = V_o I_o$ dimana $P_o =$ Daya Keluaran; $V_o =$ Tegangan Keluaran; $I_o =$ Arus keluaran.

Dengan mengambil data pengukuran kedua $V_o = 11,6$ V Dan $I_o = 30,7$ A, dapat dihitung daya keluaran konverter sebesar :

$$P_o = V_o I_o = 11,6 \text{ V} \times 30,7 \text{ A}$$

$$= 348,81 \text{ Watt.}$$

Secara keseluruhan daya keluaran konverter dapat dihitung dengan rumusan diatas dan disajikan pada tabel 3.

Tabel 6. Hasil analisa Daya keluaran Konverter.

Daya keluaran pada tabel 6. menunjukkan bahwa urutan pertama menghasilkan 0 watt. Hal ini dikarenakan tegangan masukan konverter masih dibawah harga treshold 8,5 volt, sehingga tegangan output konverter menjadi 0 volt. Kondisi breakdown pada konverter tidak terlihat karena tegangan breakdown belum terlampaui, yaitu $V_o \geq 15,5$ Volt. P_o terlihat dari perhitungan naik secara linear dari kolom kedua sampai dengan kolom ketiga dan selanjutnya konstan pada harga 450 watt. Prosentase Daya keluaran hasil analisa terhadap daya nominal perangkat konverter dapat dihitung sebagai berikut :

$$P\% = (P_o/P_n) \times 100$$

$$= (348,1/500) \times 100$$

$$= 69,62$$

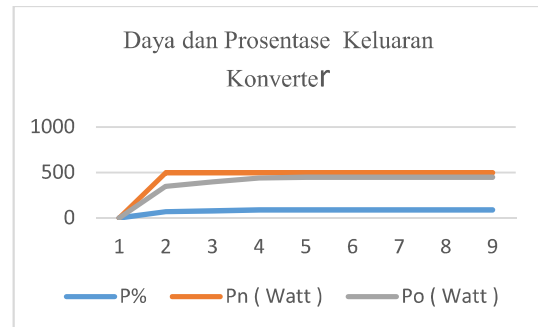
Secara keseluruhan prosentasi daya keluaran konverter hasil analisa pengukuran dibandingkan daya nominal disajikan dalam tabel 7. dan Grafik 1.

w	Data Hasil Keluaran Daya konverter							
P%	69,6	79,73	87,6	90	90	90	90	90
P _n	500	500	500	500	500	500	500	500
P _o	348,1	398,7	438	450	450	450	450	450

Tabel 7. Tabel Daya dan Prosentasi Daya keluaran terhadap Daya nominal Konverter

Prosentase daya keluaran terhadap daya nominal	V _o (V)	I _o (A)	P _o (W)
	11,6	30,1	348,1
	11,6	34,3	398,7
	11,7	37,5	438
	12	37,5	450
	12	37,5	450
	12	37,5	450
	12	37,5	450
	12	37,5	450

Tabel 8. Tegangan ,Arus dan Daya keluaran Inverter



Grafik 1. Daya keluaran dan Prosentase terhadap Daya Nominal Konverter.

Analisa Keluaran Inverter

Inverter berfungsi mengkonversikan Tegangan DC ketegangan AC , berdasarkan spesifikasi tegangan masukan nominal 12 V dengan breakdown level bawah 9,5 Volt dan level atas 15,5 volt. Daya keluaran nominal 500 watt dan

Tegangan keluaran 220 volt. Data hasil pengukuran inverter terdapat pada Tabel 3. analisa daya keluaran dapat dihitung dengan rumusan dibawah ini :

$$P_{orms} = V_{orms} \times I_{orms} = 218 \times 1,606 \text{ watt}$$

$$= 350,11 \text{ watt}$$

Secara keseluruhan hasil perhitungan daya keluaran inverter dicantumkan dalam tabel 8. Isi tabel tersebut menyatakan bahwa pada input lebih kecil dari 9,5 volt dan tegangan input lebih besar sama dengan 15,5 volt, daya keluaran inverter sama dengan nol watt.

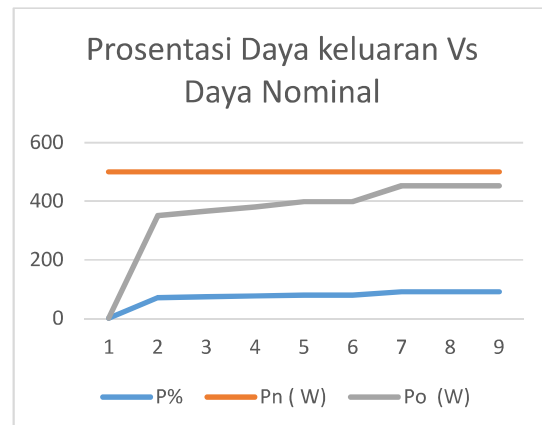
Dengan tegangan masukan lebih besar dari 9,5 Volt diperoleh tegangan keluaran yang naik menuju tegangan keluaran nominal 220 volt dan daya keluaran P_o yang mendekati harga daya nominal keluaran inverter.

	parameter					
	Tegangan, Arus dan Daya Keluaran Inverter	$V_o(Vol)$	$I_o(Amp)$	$P_o(Watt)$		
0	220	2,055	452,10			
218	220	2,055	452,10			
218	220	2,055	452,10			
218	220	2,055	452,10			
220	2,055	452,10				
220	1,809	397,98				
220	1,890	397,98				
0	0	0,00				

Tabel 9. Tegangan ,Arus dan Daya keluaran Inverter

Sebagai wujud dalam menyatakan bahwa komponen inverter ini valid maka dicari

prosentase hasil analisa daya keluaran dengan daya nominalnya. Apabila Prosentasi berharga lebih besar dari 70% maka perangkat dinyatakan memiliki level kevalidan tinggi.



Grafik 2. Prosentasi Daya Keluaran VS Daya Nominal Inverter.

Analisa Keluaran Turbin

Sesuai dengan karakteristik VAWT dari industri , daya nominal keluaran 500 Watt, daya maksimal 650 watt, Kecepatan angin yang di ijinakan 2- 25 m/s dan tegangan keluaran 12 Volt. Pada saat kecepatan angin lebih dari 25 m/s maka secara otomatis keluaran VAWT akan terkunci pada daya maksimum. Sehingga dengan demikian hasil perhitungan daya listrik pada tabel 4. terbatas pada harga P_o maksimum turbin , yaitu 650 Watt. Keluaran Turbin akan berfluktuasi dari harga minimal sampai dengan harga maksimal dan nilai optimal pada tegangan output yang ditentukan, untuk turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah 12 volt atau 24 volt. Dengan pilihan 12 volt maka harga daya keluaran akan equivalen dengan Fluktuasi tegangan di sekitar 10,5 volt sampai dengan 15,5 volt. Delta Tegangan 5 volt setara dengan $2 \times 150 \text{ Watt} = 300 \text{ Watt}$. equivalensi ini dapat

digunakan untuk menentukan output daya keluaran pada turbin, yaitu antara 350 watt sampai dengan 650 watt. Data tabel pengukuran 3. dapat digunakan untuk menentukan keluaran Daya VATW, yaitu :

$$2(P_{\max} - P_n) \approx (V_{\max} - V_{\min})$$

$$2 \times 150 \text{ watt} \approx (15,5 - 10,5) \text{ Volt}$$

$$300 \text{ watt} \approx 5 \text{ volt}$$

$$300/5 \text{ watt} \approx 1 \text{ Volt}$$

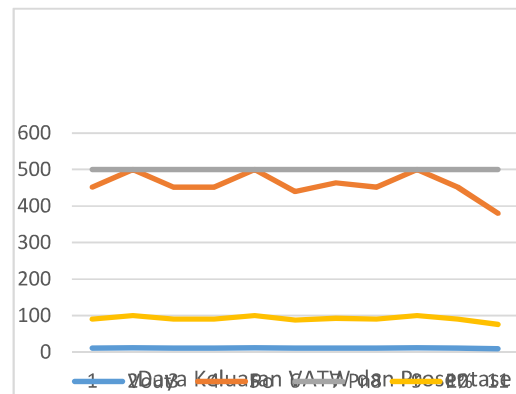
$$60 \text{ watt} = 1 \text{ Volt}$$

Dengan tegangan keluaran turbin 12 volt menghasilkan $P_0 = 500$ watt maka dapat dihitung keluaran daya VATW berdasarkan data pengukuran menjadi tabel 9.dibawah ini.

Parameter	Daya Keluaran Sitem PLTB dan Prosentase terhadap Pn				
Vo (V)	Pn (watt)	Po (watt)	Pn (watt)	Po (watt)	P%
218	500	496,7	500	496,7	99,3
205,3	500	475,7	500	475,7	95,1
220	500	500,0	500	500,0	100,0
205,3	500	475,7	500	475,7	95,1
210	500	483,5	500	483,5	96,7
205,3	500	475,7	500	475,7	95,1
220	500	500,0	500	500,0	100,0
205,3	500	475,7	500	475,7	95,1
220	500	500,0	500	500,0	100,0
205,3	500	475,7	500	475,7	95,1

Tabel 10. Hasil Analisa daya keluaran VATW dan Prosentasi P_0 Vs P_n

Data analisa daya keluaran VATW pada tabel9.dapat dinyatakan dalam bentuk grafik 3. dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Daya keluaran dan Prosentase VS Daya Nominal

sistem PLTB adalah keluaran bagian ujung yang merupakan hasil integrase semua komponen-komponen pembentuk sistem PLTB. Analisa daya keluaran dibuat dengan mengabaikan rugi-rugi pada subsistem (komponen-komponen) tersebut. Tabel.3. Data hasil pengukuran

Parameter	Vo	Po	Pn	P%
Daya Keluaran Turbin VATW dan Prosentasi terhadap Pn	10	380	500	76
	11,2	452	500	90,4
	12	500	500	100
	11,2	452	500	90,4
	11,4	464	500	92,8
	11	440	500	88
	11,2	452	500	90,4
	11,2	452	500	90,4
	12	500	500	100
	11,2	452	500	90,4

keluaran sistem PLTB equivalent dengan data tabel 4. sehingga perhitungan dapat digunakan untuk menganalisa data tersebut. Perbedaannya hasil pengukuran

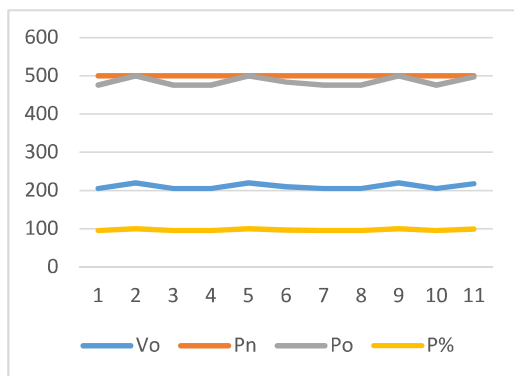
subbab ini adalah tegangan root mean square (rms) sehingga hasil dari daya keluaran merupakan daya efektif (rms).

Keluaran daya nominal (P_n) sama dengan 500 watt setara dengan tegangan nominal (V_n) 220 volt. Sedangkan tegangan maksimum 311 volt yang setara dengan

P_{max} sebesar 650 watt. Delta tegangan sama dengan 91 volt setara dengan delta Daya 150 watt. Sehingga diperoleh setiap perbedaan tegangan 1 volt memperoleh selisih daya 1,65 watt dari harga daya nominal. Hasil analisa keluaran sistem PLTB dapat dilihat pada tabel 10. dan Grafik 4.

Tabel 11. .Daya keluaran Sistem PLTB

Tabel 11. Daya keluaran Sistem PLTB dan Prosentasi terhadap Daya nominal.



Grafik 4. Grafik Daya Keluaran dan Prosentasi terhadap daya nominal.

Setelah dianalisa hasil pengukuran keluaran sistem PLTB memperoleh keluaran dayan berkisar dari 475 watt sampai dengan 500 watt. Kondisi ini sangat memadai karena prosentase keluaran PLTB dibandingkan dengan daya nominal sistem berkisar antara 95,1 % sampai dengan 100%.

Kesimpulan dan Saran

Penelitaan PLTB ini memperoleh kesimpulan dan saran sebagai berikut :

Kesimpulan.

1. Daya keluaran VWTA dengan dimensi 0,30x0, 30x 1,6 m pada kecepatan angin 3 sampai dengan 22 m/s secara teoritis menghasilkan P_o sama dengan 27,8n watt sampai dengan 5456,5 watt.
2. Daya keluaran VWTA dengan dimensi 0,30x0, 30x 1,6 m pada hasil penelitian tanpa beban berkisar dari 380 watt sampai dengan 452 watt.
3. Prosentasi daya keluaran terhadap daya nominal tanpa beban VWTA 76 % sampai 100%.
4. Daya keluaran konverter DC/DC tanpa beban 348,1 watt sampai dengan 450 watt dan Prosentase terhadap daya nominal berharga dari 69,2% sampai dengan 90%.
5. Daya keluaran inverter DC/AC tanpa beban sebesar 350,11 watt sampai dengan 452,1 watt. Sedangkan prosentasi daya keluaran terhadap nominal , yaitu 70 % sampai dengan 94,2 %.
6. Kelayakan komponen komponen PLTB dari uji hasil penelitian pada level tinggi, yaitu pada level 70% sampai dengan 100%.

Saran

1. Perlu ditinjau lanjuti uji komponen-komponen berbeban.
2. Pengukuran sistem PLTB dalam satu kesatuan rangkaian dapat saling mempengaruhi kinerja sistem, sehingga diharapkan dapat diobservasi lebih lanjut lagi.

3. Kelayakan sistem dalam implementasi memerlukan monitoring dan control, sehingga diperlukan peran serta Internet of Thing (IOT) untuk research pada perkembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budi S.f. Muktar A.I, 2013 . Kincir Angin poros vertikal sebagai alternatif penggerak pompa irigasi perkebunan di desa Karya Mukti.
- [2] Peluncuran peta potensi energy angin kerjasama Indonesia –Denmark, saatnya energy terbarukan : siaran pers No 00057.pers/04/sji/2017.Perencanaan Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.
- [3] Introductions of renewable Energi Lesson Modules At The Tchnical Schools in Indonesia Riva Geovani.
- [4] Asis Sarkar, Dhiren Kumar Behera, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 2, February 2012 , 1 ISSN 2250-3153 ,Wind Turbine Blade Efficiency and Power Calculation with Electrical Analogy.
- [5] Peter J. Schubel * and Richard J. Crossley, Published: 6 September 2012, Energies 2012, 5, 3425-3449; doi:10.3390/en5093425, Wind Turbine Blade Design.
- [6] Achmad Gustiantono¹, Dominicus DDPT², Syamsul Hadi², MEKANIKA Volume 16 Number 1, March 2017, WIND TURBINE VERTICAL AXIS H ROTOR TYPE WITH 1 kW CAPACITY AT SUWUK BEACH, KEBUMEN.
- [6] Copyright © 2017, Bel Power Solutions Inc. All rights reserved, X Series Data Sheet 375, 500 Watt AC-DC and DC-DC DIN-Rail Converters.
- [7] Dowon Han 1, Young Gun Heo 1,2, Nak Joon Choi 3, Sang Hyun Nam 1, Kyoung Ho Choi 2 and Kyung Chun Kim 1, Published: 11 June 2018, Design, Fabrication, and Performance Test of a 100-W Helical-Blade Vertical-Axis Wind Turbine at Low Tip-Speed Ratio.
- [8] 1D.SH. AKHMEDOV, 2D.I. ERYOMIN, 3N.I. YAGFAROVA, 4M.K. TURARBKOV, International Journal of Advances in Science Engineering and Technology, ISSN: 2321-9009, Volume- 4, Issue-1, Jan.-2016, Volume- 4, Issue-1, Jan.-2016 ,
- Mathematical Model To Calculate The Performance Of Low Power Vertical Axis Wind Turbine .
- [9] R. Thresher M. Robinson and National Renewable Energy Laboratory, P. Veers Sandia National Laboratories, Presented at the Physics of Sustainable Energy Conference University of California at Berkeley March 1–2, 2008 Conference, Wind Energy Technology: Current Status and R&D Future
- [10] M. Ragheb 2/17/2019, MODERN WIND GENERATORS
- [11] Mostafa Abarzadeh, Hossein Madadi Kojabadi and Liuchen Chang, Published: November 21st 2012 DOI: 10.5772/51918, Power Electronics in Small Scale Wind Turbine Systems.