

Pengujian Karakteristik Turbin Angin Tipe Horizontal Sudu Flat Multiblade Dengan Pengaturan Sudut Sudu

Syafriyudin¹, M. Suyanto², Subandi³, M. Nurkhakim W⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Corresponden author: dien@akprind.ac.id¹, myanto@akprind.ac.id², subandi@akprind.ac.id³, mnurkhakimw@gmail.com⁴

Abstrak. Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energy adalah dengan cara memanfaatkan energy angin sebagai sumber listrik. Pembangkit listrik tenaga angina merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar turbin angina yang dihubungkan dengan generator, energy listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan dalam elemen penyimpan energy listrik (baterai). Yang selanjutnya akan dialirkan kepusat beban seperti rumah tangga. Perancangan turbin angin tipe horizontal sudu flat multiblade dengan menggunakan mikrokontroller yang dapat mengubah sudut sudu sesuai kecepatan angin sehingga dapat memaksimalkan daya dari energi potensial angin. Untuk pengaturan sudut sudu yang dapat menyesuaikan kecepatan angin, menggunakan dua servo motor yang telah diberika control oleh arduinouno dari input anemometer sehingga sudut sudu dapat menyesuaikan kecepatan angin. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pengaturan sudut sudu pada turbin dapat meningkatkan putaran turbin angin, sehingga dapat menaikkan tegangan yang dibangkitkan pada generator. Sudut sudu yang optimal terdapat pada sudut 15°, pada kecepatan angin 9,5 m/s, yang menghasilkan putaran turbin sebesar 610 rpm.

Kata Kunci: EBT, turbin angin, Arduino, pengatur sudut sudu.

Abstract. One effort to overcome the energy crisis is to utilize wind energy as a power source. Angina power Plant is a method for generating electrical energy by rotating the angina turbine connected with the generator, the electric energy produced by the generator is stored in an element of electric energy storage (battery). The next one will be channeled to load center like household. The Perancangan of the horizontal type flat Multiblade Sudu is using a microcontroller that can change the angle of the sudu according to the wind speed so as to maximize the power of wind potential energy. For a sudu angle setting that can adjust the speed of the wind, use two servo motors that have been control by the Arduinouno from the input anemometer so that the angle of the sudu can adjust the wind speed. The results have shown that the turbine-angle arrangement of the turbines can increase the rotation of the wind turbine, thereby increasing the voltage raised in the generator. The optimal angle of the Sudu is at a 15o angle, at a wind speed of 9.5 m/s, resulting in a turbine round of 610 rpm.

Keywords: EBT, wind turbine, Arduino, Sudu angle regulator.

PENDAHULUAN

Indonesia menargetkan peningkatan penggunaan energi terbarukan sebagaimana tertulis pada Peraturan Pemerintah nomor 79 tahun 2014. Pemerintah menargetkan porsi energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050, guna menuju ketahanan energi di masa depan. Mengeksplorasi berbagai potensi energi terbarukan pada setiap wilayah di Indonesia merupakan cara yang tepat untuk mencapai target tersebut.

Tabel.1. Target pembanguna pembangkit EBT [3]

Jenis Pembangkit	Target 2025 (MW)	Target 2050 (MW)
Panas Bumi	7.241	17.546
Air & Mikrohidro	20.960	45.379
Bioenergi	5.532	26.123
Surya	6.379	45.000
Angin	1.807	28.607
EBT Lainnya	3.128	6.383

Sumber iesr 2017.

Dalam skala global berdasarkan data dari *International Energy Agency* (IEA) pola konsumsi energi dunia mengalami perubahan. Penggunaan energi primer konservatif seperti bahan bakar minyak, gas dan batubara tetap meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan aktifitas ekonomi namun ke depan diperkirakan pertumbuhan konsumsi energi fosil tersebut akan melambat. Disisi lain kenaikan luar biasa dari pemakaian energi terbarukan yang akan meningkat dua kali lipat dalam kurun waktu 10-15 tahun yang akan datang [5]. Perkiraan ini sangat mungkin terjadi dengan semakin sadarnya manusia untuk penggunaan *Green energy*. Perkembanganteknologi saat ini juga turut mendukung pertumbuhan penggunaan berbagai potensi energi terbarukan.

Penggunaan turbin tipe horizontal sudu *flat multiblade* memanfaatkan arduino sebagai mikrokontroler arduino dan servo motor sebagai aktuator atau penggeraknya untuk mengatur besar plan area sesuai kondisi kecepatan angin.[4], Solar tree adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang menggabungkan panel surya dengan konstruksi seperti pohon, dengan desain pohon surya dapat menangkap intensitas sinar matahari yang lebih besar, baik di pagi hari, siang hari,

dan sore hari.[14], Turbin angin jenis HAWT dan VAWT, mempunyai kelebihan dan kekurangan yang tergantung pada kecepatan angin dan tempatnya. Turbin angin sumbu horizontal dengan bilah baling-baling adalah yang paling umum, karena efisiensinya sekitar 60%.[8], turbin angin memiliki dinamika nonlinear, kekuatan penggerak stokastik dan tidak terkendali sebagai input dalam bentuk kecepatan angin, Metode kontrol yang sesuai dapat memberikan optimisasi berkelanjutan [13]

Dengan menaikkan batas kecepatan *flutter* yang mengontrol gerakan *aileron* dengan *fuzzy logic*. Dengan menganalisis kecepatan *flutter* menggunakan metode-p, maka dapat diketahui batas kecepatan *flutter*, dan dengan control LQG dan *fuzzy logic* maka fenomena *flutter* dapat teratasi [2], model sistem pembangkit listrik dengan sel surya untuk rumah menggunakan panel jenis polikristalin mampu bekerja maksimum pada pukul 10.00 hingga 13.00 wib pada tegangan 17,5 volt [11]

Potensi Energi Angin

Energi angin di negara tropis pada umumnya memiliki kecepatan yang cukup rendah. Kecepatan angin rata-rata di Indonesia hanya sekitar 3-5 m/s. Hanya sedikit daerah di Indonesia yang memiliki kecepatan angin cukup besar. Potensi tenaga angin di Indonesia diperkirakan hanya sekitar 9.200 MW. [3].

Kajian potensi energy angin yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin di kota jambi menunjukkan Kecepatan angin rata-rata dalam setahun pada ketinggian diatas 2 meter adalah sebesar 2,45 m/s. dimana kecepatan angin tersebut masuk dalam kategori angin kelas 3 (tiga) yang masih dapat dimanfaatkan potensinya. [7]

METODE

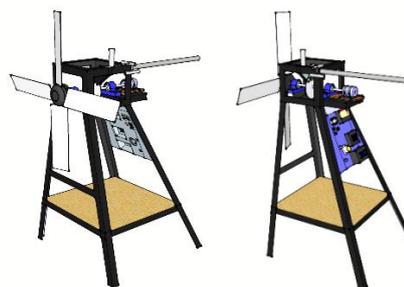
Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Dengan membuat prototipe turbin angin tipe horizontal sudu flat multiblade yang sudut sudu nya diatur menggunakan Arduino, pengujian alat di lakukan di laboratorium konversi energy, dengan menggunakan *wind tunnel* sebagai simulasi untuk mendapatkan variable kecepatan angin.

Desain aero-struktural termasuk pertimbangan awal blade turbin angin kecil. Dengan sudu berongga mempercepat start pada kecepatan rendah dengan mengurangi inersia sudu,[1],Rangkaian Daya *Buck Converter* ripple menghasilkan siklus kerja yang lebih halus dengan mengatur siklus kerja pengaturan frekuensi PWM dalam 1,7 Khz dan 3,3 Khz. [6]

Perancangan Sistem

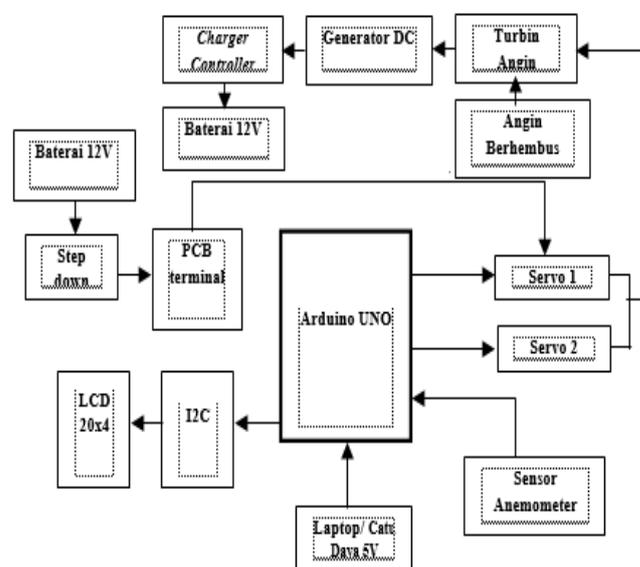
Desain turbin angin yang mampu beroperasi pada berbagai kecepatan angin dan dapat diwujudkan dengan membuat plan area sudu yang berubah-ubah secara otomatis. Saat kecepatan angin rendah plan area berkurang dan saat kecepatan angin tinggi plan area

bertambah. Pada penelitian ini telah dibuat turbin angin tipe horizontal sudu *flat multiblade* dengan pengaturan sudut sudu otomatis seperti pada Gambar



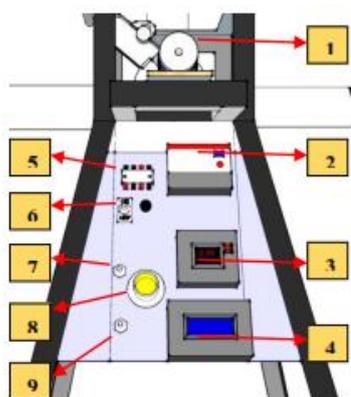
Gambar 1. Desain kincir angin

Perubahan pada plan area sudu turbin dilakukan dengan mengatur sudut *pitch* pada sudu dimana saat plan area bertambah sudut *pitch* sudu besar sedangkan saat plan area berkurang sudut *pitch* sudu kecil Diagram blok sistem pada rancang bangun turbin angin tipe horizontal sudu *flat multiblade* dengan pengaturan sudut sudu otomatis.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Secara umum, rancangan dibagi menjadi 3 bagian yaitu bagian *input*, bagian kendali dan bagian *output* kendali. Bagian *input* terdiri dari generator DC yang diputar oleh turbin angin dimana generator terhubung dengan *charger controller* yang berfungsi untuk kontrol pengisian baterai. Bagian kontrol terdiri dari arduino untuk pemrosesan perintah dan kendali, arduino dan LCD disuplai catu daya 5V/ laptop, dengan LCD sebagai penampil kecepatan angin, *input* analog dari arduino adalah sensor anemometer sebagai perintah untuk memberikan bagian *output* kendali terhadap 2 servo terhadap sudu turbin.



Gambar 3 Bagian rancangan kincir angin

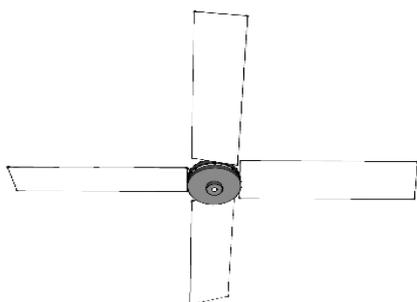
Desain bagian panel belakang terdiri dari beberapa bagian. Pada Gambar 4 bagian- bagian panel belakang adalah sebagai berikut:

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1 Generator DC | 6 Saklar panel dan fuse |
| 2 Charger Control | 7 Saklar lampu |
| 3 Voltmeter dan amperemeter | 8 Fitting lampu |
| 4 Penampil kecepatan termnal | 9 Saklar anemometer |

Sudu Turbin Angin

Sumber penggerak dari generator menggunakan sumber energy angin dan berdasar hasil pengujian bahwa Efisiensi generator maksimum 20,68 % dan minimum 3.10 %, [12]. Dengan kinerja aerodinamis Turbin Angin Sumbu Horisontal (HAWT) pada bilah sapuan maju dan mundur ditemukan bahwa bilah sapuan maju memiliki kemampuan untuk meningkatkan kinerja sedangkan bilah sapuan mundur cenderung mengurangi koefisien dorong [9].

Sudu turbin angin dibuat dari 4 lembar plat besi yang memiliki sifat ringan, kuat ,dan mudah dibentuk. Profil sudu berbentuk persegi panjang dengan panjang 400 mm, lebar 100 mm dan tebal plat 2 mm. Diameter sapuan sudu turbin sebesar 980 mm seperti yang terlihat pada Gambar 4

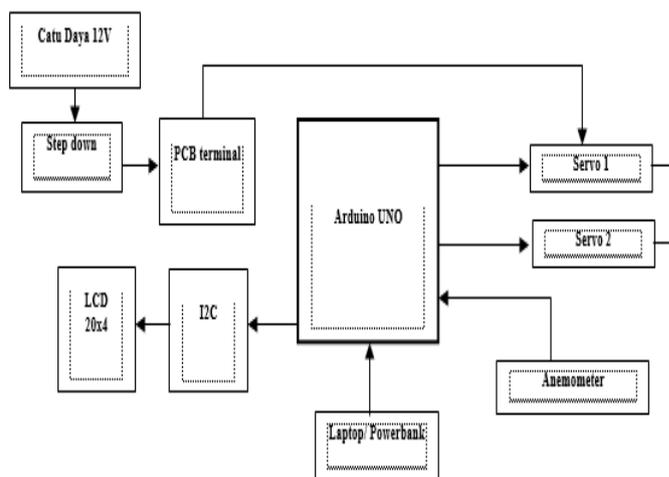


Gambar 4. Sudu dan Hub Sudu

Kontrol Sudu

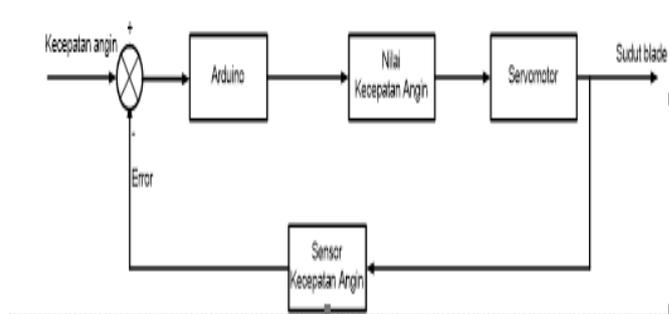
Data hasil pengolahan yang telah diubah menjadi grafik selanjutnya akan diinput kedalam

program kontrol dimana setiap kecepatan angin hanya diambil satu sudut dengan kurva tertinggi.



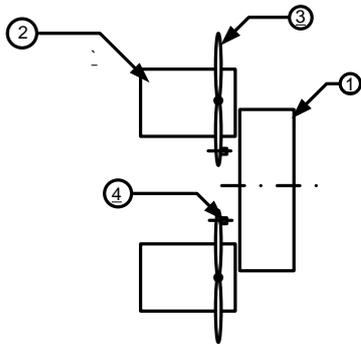
Gambar 5. Diagram Blok Kontrol Turbin

Sistem menggunakan sumber DC 12 volt dari baterai, setelah itu di *step down* menjadi 5 volt. Sumber ini digunakan untuk mensuplai dua servo melalui PCB terminal. Sedangkan arduino, LCD 4 x 20 dan sumber dari sensor kecepatan angin / anemometer disuplai dari laptop/powerbank menggunakan USB *downloader*. Untuk penggunaan pin data, sensor kecepatan angin pada pin 2, servomotor 1 pada pin 8 dan servomotor 2 pada pin 9, dan juga dengan penggunaan pin analog untuk LCD yakni SDA pada A5 dan SCL pada A4. Berdasarkan proses diagram tersebut, maka dapat digambarkan blok diagram dengan sistem *close loop* seperti Gambar 6.



Gambar 6, Diagram Blok Pengaturan

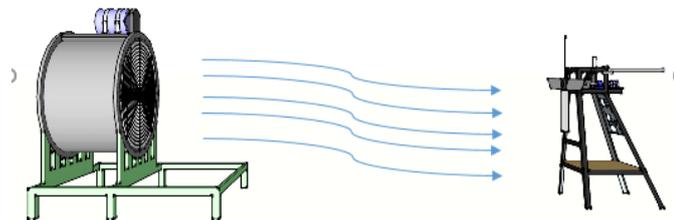
Pergerakan sudu dimaksudkan agar didapatkan sudut terbaik pada kecepatan angin tertentu. Mekanisme ditunjukkan seperti pada Gambar 7, pergerakan ini menggunakan dua servomotor (nomor 2) sebagai penggerak utamanya. Pergerakannya menggunakan lengan dari servomotor (nomor 3) untuk mendorong hub (nomor 1) agar engsel merubah sudut sudu. Pada saat turbin berputar maka akan terjadi gesekan, pada saat berputar lengan servo akan bergesekan langsung dengan hub seperti yang ditunjukkan (nomor 4).



Gambar 7. Mekanisme perubahan sudut sudu

Pengujian wind tunnel

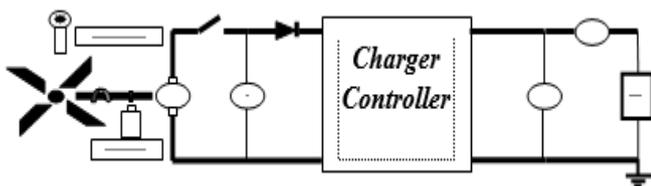
Pengujian yang dilakukan di dalam laboratorium, dimana turbin angin dihadapkan dengan *windtunnel* secara langsung seperti pada Gambar 8. Pengujian ini dimaksud untuk mendapatkan variabel kecepatan angin yang dapat diatur. data ini untuk mendapatkan karakteristik kecepatan angin terhadap keluaran tegangan minimal dan maksimal untuk setiap sudut yang akan digunakan sebagai acuan data *input* untuk panel kontrol.



Gambar 8. Pengujian dengan wind tunnel

Pengujian pengukuran Tegangan dan Arus

Pada pengujian ini dilakukan dengan menambah variasi kecepatan angin mulai dari 1 *m/s* sampai dengan 10 *m/s*. Untuk *variable* sudut *blade* yang digunakan yaitu sudut *blade* 15°, 20°, 25°, 30°, 35° dan 40°. Data yang diambil adalah tegangan generator (VDC) sebelum masuk ke *charger control*, tegangan (VDC) dan arus (IDC) masuk ke beban (akumulator) melalui *charger control*. Selain itu juga data lain yang diambil adalah *rpm* rotor turbin tak berbeban, *rpm* rotor turbin berbeban.



Gambar. 9. Rangkaian Pengujian Rekayasa

Analisis Pengujian Tegangan dan Arus Terhadap Kecepatan Angin

Pada analisis pengujian tegangan dan arus terhadap kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui

tegangan dan arus keluaran generator yang digunakan berdasarkan kecepatan angin. Pada pengujian ini, generator dihubungkan secara langsung menggunakan *flexible coupling* terhadap rotor turbin angin yang digunakan, *output* tegangan yang optimal digunakan untuk menginput sensor kontrol untuk menggerakkan sudut turbin. Pada saat mengukur kecepatan angin, diukur menggunakan alat anemometer, sedangkan putaran turbin / generator diukur menggunakan tachometer. Setelah generator berputar, maka tegangan dan arus output generator diukur menggunakan voltmeter dan amperemeter.

Analisis Uji Kinerja Turbin Angin Flat Multiblade dengan kontrol

Uji kinerja alat dilakukan dimana alat kontrol otomatis yang telah dirancang akan mengendalikan seluruh kinerja sistem secara otomatis. Pengendalian sudut sudu turbin dilakukan berdasarkan nilai tegangan optimal. Seluruh rangkaian dari sensor hingga aktuator dihubungkan ke mikrokontroler. Data yang terbaca akan ditampilkan ke display LCD 4x20, untuk menjadi *feedback elements* pada sistem. Nilai kinerja didapatkan dari pengujian kinerja alat dimana pengujian dilakukan dengan penerapan alat untuk mengetahui apakah alat yang dibuat mampu bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Penerapan alat ini dimaksudkan mampu memberikan aksi-aksi dari komponen aktuator. Uji kinerja terbagi menjadi 2, yakni kinerja sensor anemometer dan kinerja aktuator.

Analisis Perhitungan Efisiensi Generator

Pada perhitungan ini yang menjadi parameter analisis adalah daya kinetik dari turbin dan daya output dari generator, setelah mendapatkan kedua nilai tersebut lalu dapat dihitung efisiensi generator dalam persentase.

Data Hasil Tegangan dan Arus

Proses pelaksanaan pengujian wind turbin di laboratorium dengan menggunakan wind tunnel, Data hasil pengujian diperoleh dan telah dilakukan di Laboratorium Konversi Energi seperti pada gambar 10



Gambar 10. Pengujian laboratorium menggunakan wind turbin

Pada pengujian laboratorium, variasi sudut *pitch* pada sudu sebesar 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40° dengan kecepatan angin mulai dari 1 m/s sampai dengan 10 m/s. Beban yang digunakan dalam pengujian adalah akumulator kering jenis MF (*Maintenance Free*) GT6A (GM5Z-3B) berkapasitas 5 Ah dimana ketika pengujian,

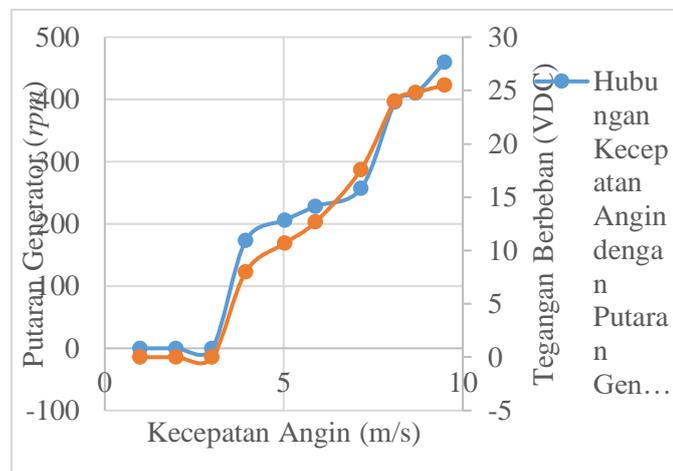
akumulator dikosongi terlebih dahulu sampai 11,5 Volt. Salah satu data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Data yang diambil merupakan data yang dibutuhkan dalam menganalisis kinerja turbin angin. Data tersebut antara lain kecepatan angin, putaran poros, tegangan dan arus generator.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Rekayasa Pada Turbin Angin Sudut 15°

No	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan putar turbin (no load) (RPM)	Kecepatan putar turbin (load) (RPM)	Tegangan DC (no load) (Volt)	Tegangan DC (load) (Volt)	Arus DC Charger Controller (A)
1	1	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	0
4	3,94	173,5	173,5	8,02	8,02	0
5	5,04	210	206,1	10,7	10,4	0
6	5,9	282,1	228,3	12,7	11,4	0,01
7	7,16	428,9	257	17,6	12,4	0,38
8	8,11	474	395,6	24	12,4	0,64
9	8,7	575	410	24,8	12,4	0,75
10	9,5	610	460	25,5	12,4	1,01

Dari Tabel diatas dibuat grafik karakteristik sudut 15° pengujian rekayasa hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator dan kecepatan angin dengan tegangan.

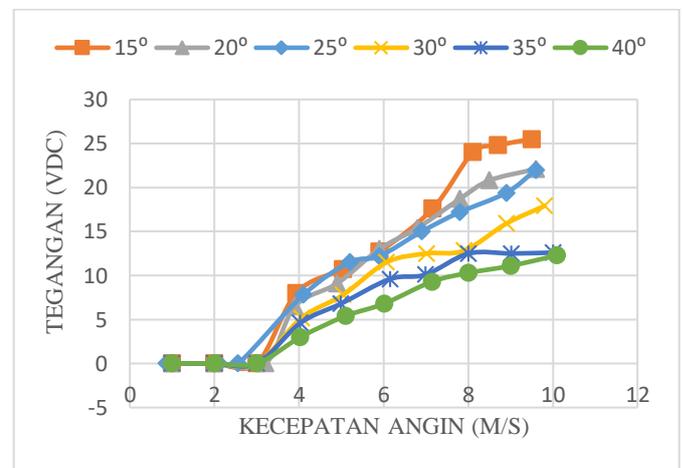
Turbin Angin Tipe Horizontal Sudu *Flat Multiblade* pada Pengujian laboratorium.



Gambar. 11 Kurva Karakteristik Sudut 15°

Gambar 11 merupakan kurva karakteristik sudut 15° pengujian rekayasa. Terdapat dua kurva dalam grafik tersebut yakni hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator dan hubungan kecepatan angin dengan tegangan. Setelah ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar putaran yang dihasilkan rotor generator. Hal ini bisa dilihat pada *trendline* hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator.

Mengacu pada *trendline* kurva dari hubungan kecepatan angin dengan tegangan, turbin angin mampu menghasilkan tegangan minimal sebesar 8,02 volt pada kecepatan angin 3,94 m/s dengan putaran turbin sebesar 206,1 rpm dan tegangan maksimal sebesar 25,5 volt pada kecepatan angin 9,5 m/s dengan putaran turbin sebesar 610 rpm. Karakteristik Tegangan Generator



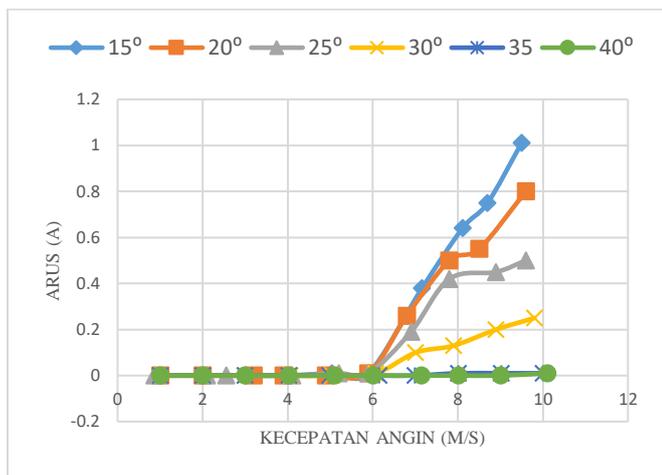
Gambar. 12 Grafik Hubungan Antara Tegangan dengan Kecepatan Angin

Gambar 12 merupakan grafik karakteristik hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan pada pengujian rekayasa. Terdapat enam kurva dalam grafik tersebut yang terdiri dari sudut 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°. Pengujian kinerja diawali dengan kecepatan angin mulai dari 1 m/s sampai dengan 10m/s. Setelah ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat bahwa kecepatan angin minimal untuk menghasilkan tegangan adalah 4 m/s pada setiap sudut dimana semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh generator. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator. Berdasarkan Tabel 4.1 bahwa kecepatan angin yang berhembus mulai dari 1 m/s sampai dengan 10 m/s pada hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator juga berbanding lurus artinya ketika laju angin meningkat

maka kecepatan putar dari turbin juga meningkat, yang mana hal itu akan menghasilkan energi yang besar.

Mengacu pada garis trenkurva dari masing-masing sudut tersebut, turbin angin *flat multiblade* dapat menghasilkan tegangan paling besar pada sudut 15° sebesar 25,5 Volt pada kecepatan angin 9,5 m/s dengan putaran turbin sebesar 610 rpm dan tegangan paling kecil pada sudut 40° sebesar 3 volt pada kecepatan angin 4,03 m/s dengan putaran turbin 77,7 rpm.

Karakteristik Arus Generator Turbin Angin Tipe Horizontal Sudu Flat Multiblade



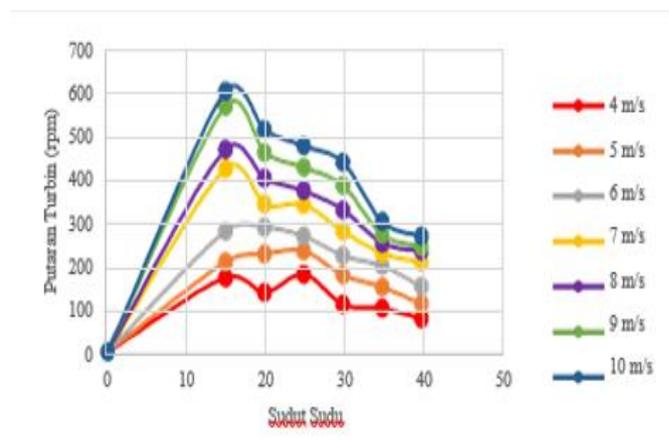
Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Arus dengan Kecepatan Angin

Gambar 13 merupakan grafik karakteristik hubungan antara kecepatan angin dengan arus. Terdapat enam kurva dalam grafik tersebut yang terdiri dari sudut 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°. Pengujian kinerja diawali dengan kecepatan angin mulai dari 1 m/s sampai dengan 10 m/s. Beban yang digunakan dalam pengujian adalah akumulator kering jenis MF (*Maintenance Free*) GT6A (GM5Z-3B) berkapasitas 5 Ah dimana ketika pengujian, akumulator terlebih dahulu dikosongkan hingga 11,5 Volt dan digunakan sebagai beban. Dalam pengisian akumulator, *output* tegangan dan arus pada generator idealnya adalah dengan tegangan 12,5 volt dan arus minimal 0,5 ampere pada beban yang digunakan.

Turbin angin mulai dapat mengeluarkan arus ideal pada sudut sudu 15° sebesar 0,64 ampere pada kecepatan 8,11 m/s, pada sudut sudu 20° sebesar 0,5 ampere pada kecepatan 7,8 m/s, dan pada sudut sudu 25° sebesar 0,5 ampere pada kecepatan 9,6 m/s. Dari Gambar 12, terlihat bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap putaran dari turbin angin yang mana akan mempengaruhi laju dari generator itu sendiri. Jika kecepatan angin semakin tinggi, maka semakin besar arus listrik yang dihasilkan generator. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan arus listrik yang dihasilkan oleh generator.

Mengacu pada *trendline* kurva dari masing-masing sudut tersebut, turbin angin *flat multiblade* dapat

menghasilkan arus paling besar pada sudut 15° sebesar 1,01 A pada kecepatan angin 9,5 m/s. Dalam menentukan parameter ideal dari tegangan dan arus yang sudah dibuat grafik dari pengujian rekayasa maka penulis melakukan pengujian langsung di alam agar dapat mempertimbangkan penyesuaian sudut pada mikrokontroler.



Gambar 14. Grafik hubungan antara sudut sudu dengan putaran turbin

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan uji kinerja, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian yang dilakukan laboratorium, turbin angin *flat multiblade* dapat menghasilkan tegangan paling besar pada sudut 15° sebesar 25,5 Volt pada kecepatan angin 9,5 m/s dengan putaran turbin 610 rpm dan turbin angin *flat multiblade* dapat menghasilkan arus paling besar pada sudut 15° sebesar 1,01 A pada kecepatan angin 9,5 m/s dengan putaran turbin 460 rpm
2. turbin angin tipe horizontal sudu *flat multiblade* dengan menggunakan mikrokontroler arduino UNO sebagai pengaturan sudut sudu secara otomatis
3. Perubahan sudut sudu yang diatur secara otomatis dapat meningkatkan menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh generator.
4. Semakin tinggi sudut sudu yang di gunakan maka dibutuhkan kecepatan angin yang besar untuk dapat memutar turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abolfazl Pourrajabian, Peyman Amir, Nazmi Afshar, Mehdi Ahmadzadeh, David Wood, 2015, *Aero-structural design and optimization of a small wind turbine blade*, journal Elsevier Renewable Energy xxx 1-12
- [2] Akhmad Fauzilhaq, Ismoyo Haryanto, 2016. *Flutter Suppression Air foil Sudu Turbin Angin Menggunakan Lqg Controller Dan Fuzzy Logic*, Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 4, No. 2
- [3] Ditjen EBTKE, 2016. *Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi* Jakarta

- [4] Elsa Khunaifi, Rendi Pangestuningtyas, Tanti Heriawati, 2019., *Smart WindTurbine Tipe Horizontal Sudu Datar Multiblade Dengan Menggunakan Arduino Sebagai Pengaturan Sudut Sudu Secara Otomatis*, jurnal teknik Energi vol.15 no.3
- [5] Fontana, A., & Zainal, A. (Ed.), 2016. *19 Tahun Inovasi Ketenagalistrikan Indonesia PLN Berinovasi untuk Indonesia*. 1st ed. Jakarta: PLN Research Institute.
- [6] Leily. W. Johar, 2018, *Kajian kelayakan potensi energi angin untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik disekitaran legok-kota jambi*, Journal of Electrical Power Control and AutomationVol.1 No.1
- [7] Magedi Moh. M.Saad, Norzelawati Asmuin, 2014, *Comparison of Horizontal Axis Wind Turbines and Vertical Axis Wind Turbines*, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) Vol.04, Issue 08 (August.2014), PP 27-30
- [8] Mehmet Numan Kaya, Faruk Kose, Derek Ingham, Lin Ma, Mohamed pourkashanian 2018, *Aerodynamic performance of a horizontal axis wind turbine with forward and backward swept blades*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 176 (2018) 166–173
- [9] Muhammad Faadhil, Karnowo, Samsudin Anis, 2018., *Pengaruh sudut serang terhadap kinerja kincir angin Helix Gorlov dengan penambahan Curveplate*, Jurnal Sains dan Teknologi (Saintekno), Vol 16 No.1
- [10] M. Suyanto, T Rusianto, Subandi, 2019, *Development of A Household Solar Power Plant: System Using Solar Panels*, OP Conf. Series: Materials Science and Engineering conference series **807** (2020) 01200
- [11] Priyaningsih, N., Yuniarti, N.. 2017, *Analisis Efisiensi generator pada wind turbine*, jurnal edukasi elektro, vol 1, no.2
- [12] Silvio Simani, 2015, *Advance dissues of windturbine mode lingand Control*, Journal of Physics: Conference Series 659 (2015) 012001
- [13] Syafriyudin, 2018, *Characteristic Solar Tree Construction on Solar panel Power Plant*, International Conference on Science and Technology (ICST), Atlantis Highlights in Engineering (AHE) vo 1., pp 515-521