

Bidang Unggulan : Ketahanan Pangan , Energi dan Lingkungan
Kode Topik Penelitian : B4, Energi Baru dan Terbarukan
Kode>Nama Rumpun Ilmu: 452/Teknik Tenaga Elektrik

LAPORAN
PENELITIAN UNGGULAN PROGRAM STUDI



**Analisis Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Pada
Pilot Project Smart Grid Program Studi Teknik Elektro
Universitas Udayana**

Ir. I Wayan Sukerayasa, MT (0003116407)
Prof. Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, MEngSc, PhD (0013126509)

Dibiayai Oleh
DIPA PNBP Universitas Udayana TA 2019
Nomor : 2501.1 / UN14.2.5.II/LT/2019
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS UDAYANA
Oktober 2019

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN UNGGULAN PROGRAM STUDI



Judul : Analisis Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Pada Pilot Project Smart Grid Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana

Peneliti / Pelaksana

Nama lengkap : Ir. I Wayan Sukerayasa, MT
NIP/NIDN : 196411031991031001 / 0003116407
Jabatan Fungsional/Stuktural : Lektor Kepala / Tidak ada
Program Studi : Sarjana Teknik Elektro
Nomor HP : 081558629699
Alamat Surel (e-mail) : sukerayasa@unud.ac.id

Anggota I

Nama Lengkap : Prof. Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, M.Eng.Sc.,Ph.D.
NIDN : 0013126509
Perguruan Tinggi : Magister Teknik Elektro

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -

Tahun Pelaksanaan : Tahun ke-1 dari rencana 1 tahun
Biaya Diusulkan : Rp. 25.000.000
Biaya Disetujui : Rp. 25.000.000

Mengetahui



(~~Dr. Ida Bagus~~ Putu Gede Manuaba, ST., MT)
NIP:196401091997031003

Denpasar, 30 Oktober 2019

Ketua Tim Pelaksana

(Ir. I Wayan Sukerayasa, MT)
NIP:196411031991031001

Menyetujui,



Dekan/Direktur Fakultas Teknik
Universitas Udayana

(Prof. Ir. Ngakan Putu Gede Suardana, MT, Ph.D.)
NIP:196409171989031002

RINGKASAN

Penerapan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia masih sangat kecil dari potensi yang ada. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan sebesar 443,2 GW. Bali memiliki potensi angin sebesar 1,019 GW. Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi primer untuk menghasilkan energi listrik. Implementasi pembangkit listrik tenaga bayu skala kecil terdapat di Bali, salah satu terletak pada *Pilot Project Smart Grid* Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana. Smart Grid ini terdiri dari PLTS dan PLTB yang beroperasi sejak tahun 2016. *Pilot Project ini* merupakan hasil kerja sama antara BALITBANG Kementerian ESDM dengan Universitas Udayana. PLTB pada *Pilot Project* memiliki total kapasitas 5 kWp, dengan jumlah turbin angin sebanyak 10 turbin dengan rated power masing-masing sebesar 500 Watt. Data logger pada *Pilot Smart Grid* melakukan logger 10 turbin angin sekaligus, sehingga daya keluaran masing – masing turbin angin tidak diketahui. Telah dilakukan pengukuran dengan merancang data loger untuk mengukur daya keluaran masing-masing 2 pembangkit. . Turbin angin yang diukur adalah turbin nomor 8 dan 9 dari timur. Kecepatan angin optimal menghasilkan energi berkisar jam 8 sampai jam 17, dengan kecepatan rata-rata 5,3 meter / detik. Pada kecepatan angin rata-rata 5,3 m/dt didapatkan bahwa tipe GH-0.5K menghasilkan energy lebih sedikit 17,11% dibandingkan dengan Tipe TSD-500.

Kata Kunci— Angin, Energi baru terbarukan, Energi primer, Smart Grid, Turbin angin.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya, Penelitian ini dapat berjalan sesuai dengan rencana.

Ucapan terimakasih dan penghargaan kami sampaikan kepada semua pihak yang telah banyak berperan dan membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Dan melalui kesempatan ini pula penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Universitas Udayana yang telah memberikan dukungan dana dan kesempatannya.
2. Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan fasilitas Lab Energi Terbarukan.
3. Anggota TIM dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan Penelitian ini serta dalam penyelesaian laporan ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam Penelitian ini, saran-saran akan diterima untuk kesempurnaan penelitian berikutnya. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Penelitian ini bermanfaat bagi kita semua.

Denpasar, Oktober 2019

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Khusus	2
1.3 Keutamaan / Urgensi Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 State of the Art Review	5
2.2 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	5
2.3 Potensi energi angin	9
2.4 Power Coefficient dan Tip Speed Ratio.....	15
2.5 Karakteristik Daya Rotor	18
2.6 Generator.....	19
BAB III METODE	21
3.1 Rancangan Penelitian.....	21
3.4 Indikator Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI.....	23
4.1 Hasil tes perancangan alat.....	23
4.2 Hasil pengukuran kecepatan angin.....	22
4.3 Hasil pengukuran keluaran turbin.....	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	28
DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN	31

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Peran energi baru dan energi terbarukan telah diatur oleh pemerintah melalui PP No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Dalam PP tersebut, untuk mencapai bauran energi yang optimal, pemerintah menargetkan penggunaan energi baru dan energi terbarukan paling sedikit sebesar 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit sebesar 31% pada tahun 2050. Namun, dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) Tahun 2017 s.d. 2026, hingga bulan November 2016 bauran energi dari energi baru dan terbarukan (EBT) hanya sebesar 12,9%. Bauran energi di Indonesia masih didominasi oleh batubara sebesar 54,6% disusul oleh gas sebesar 26%, dan BBM 6,5%.

Dalam periode 2017 s.d. 2026, pemerintah berencana menambah kapasitas pembangkit sebesar 77,9 GW. Dari jumlah tersebut, PLTU batubara masih mendominasi jenis pembangkit yang akan dibangun sebesar 31,9 GW atau sebesar 41%. Sedangkan untuk EBT yang akan dibangun sebesar 21,5 GW atau sekitar 27,7%. Padahal cadangan batubara sendiri mengalami penurunan sebesar 3.806,39 juta ton pada tahun 2016 (PT PLN, 2017).

Mengingat batubara merupakan bahan bakar fosil yang ketersediaannya di alam semakin menipis, diperlukan sumber energi lain untuk pembangkitan listrik. Salah satu sumber energi yang dapat digunakan adalah energi angin / bayu. Energi bayu merupakan salah satu energi baru dan terbarukan yang potensinya di Indonesia cukup besar. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang mulai berkembang pesat, dan didorong oleh pemerintah untuk dikembangkan mengingat angin merupakan salah satu energi terbarukan (EBT). Menurut Lampiran Peraturan Presiden No 22 Tahun 2017 Bali memiliki potensi angin sebesar 1019 MW.

Implementasi dari pembangkit listrik tenaga bayu terdapat di Bali yang terletak pada *Pilot Project Smart Grid in Microgrid* Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana yang digunakan untuk penelitian, yang telah beroperasi sejak tahun 2016. *Pilot Project Smart Grid in Microgrid* Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana merupakan hasil kerja sama/MoU antara BALITBANG Kementerian ESDM dengan Universitas Udayana untuk bersama-sama mengembangkan teknologi bidang Energi dan Sumber Daya Mineral terutama dalam bidang energi terbarukan. PLTB ini memiliki total kapasitas sebesar 5 kWp, dengan jumlah turbin angin sebanyak 10 turbin dengan rated power masing-masing adalah sebesar 500 Watt. Pada 10 *wind turbin* tersebut terdapat 8 *wind turbinen* dengan model TSD-500 buatan Indonesia dan 2 *wind turbin* dengan model GV-500W buatan Cina.

Hal yang melatar belakangi proposal ini adalah data logger yang terdapat pada *Pilot Smart Grind* Teknik Elektro Universitas Udayana melakukan logger 10 wind turbine sekaligus, sehingga daya *output*

masing – masing wind turbine tidak diketahui. *Wind turbine* TSD – 500 dan GV – 500W memiliki jenis generator yang sama yakni, generator 3 phasa dengan magnet permanen. Selain daya *output* yang tidak diketahui, performa dari *wind turbine* TSD – 500 dan GV – 500W belum pernah dianalisa. Maka diperlukan penelitian performa dari *wind turbine* TDS - 500 dan GV - 500W menggunakan alat ukur dari mikrokontroler atmega 328 sehingga dapat mengetahui *wind turbine* jenis mana yang menghasilkan daya *output* dan performa yang lebih baik dengan kecepatan angin yang sama.

1.2 Tujuan Khusus

Pengembangan, pemanfaatan dan penelitian teknologi energi bayu untuk dikonversikan menjadi energi listrik di Indonesia merupakan upaya peningkatan kontribusi energi baru dan terbarukan (EBT) dalam mencapai target bauran energi 23% dalam tahun 2025, sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional. Teknologi pembangkit energi bayu cukup sederhana bila dibandingkan dengan pembangkit lain seperti PLTU yang kompleks. Dengan komponen utama adalah turbin angin / blade, generator dan sistem mekanik penunjang lainnya. Dengan karakteristik angin di Indonesia secara umum tidak konstan tidak seperti didaerah subtropis yang kecepatan anginnya yang konstan, maka diperlukan penelitian mengenai jenis turbin angin yang mana cocok dikembangkan di indonesia. Dengan diketahuinya jenis turbin angin yang cocok disuatu tempat dengan karakteristik angin tertentu maka akan diperoleh energi angin yang optimal.

Dalam penelitian ini akan diteliti dua jenis PLTB dengan kapasitas yang sama, dengan posisi lokasi yang sama (lokasi diatas Gedung DH di Program Studi Teknik Elektro) dan dengan panjang baling-baling (blade) yang berbeda. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran kecepatan angin dan pengukuran output energi yang dihasilkan oleh masing-masing PLTB. Pengukuran ini dilakukan dengan merancang alat sistem monitoring yang dapat memberikan informasi kecepatan angin, tegangan dan besarnya arus yang dihasilkan oleh masing-masing PLTB. Sistem monitoring ini akan dapat menyimpan data untuk waktu tertentu yang bisa didownload untuk dianalisa. Dengan kapasitas penyimpan data yang cukup besar sehingga dapat merekam data beberapa bulan, sehingga diperoleh data untuk dianalisis yang diharapkan akan lebih akurat. Dari hasil penelitian ini akan diketahui unjuk kerja dari masing-masing pembangkit sehingga untuk daerah kampus bukit jimbaran diketahui jenis turbin mana yang lebih optimal.

1.3 Keutamaan / Urgensi Penelitian

Dalam kehidupan modern ini, keberadaan energi listrik sangat vital. Banyak kegiatan manusia yang sangat terganggu kalau aliran listrik terputus, kenyamanan akan berkurang, kerugian finansial yang besar dan lain sebagainya. Sebagian besar peralatan mulai dari rumah tangga, kantor sampai industri menggunakan energi listrik.

Hal mendasar yang menyebabkan energi angin kurang menarik di Indonesia yaitu rendahnya kecepatan angin, sebagaimana umumnya kawasan tropis. Umumnya angin yang terjadi di daerah Indonesia ini adalah angin lokal yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dari masing masing wilayah. Perbedaan tekanan ini disebabkan oleh perbedaan temperatur akibat efek pemanasan permukaan bumi oleh energi matahari. Pada umumnya kisaran kecepatan angin rata rata terukur di Indonesia pada rentang 2,5 – 5,5 meter/detik pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah. Sedangkan teknologi turbin angin umumnya didesain untuk kecepatan angin yang relatif lebih tinggi.

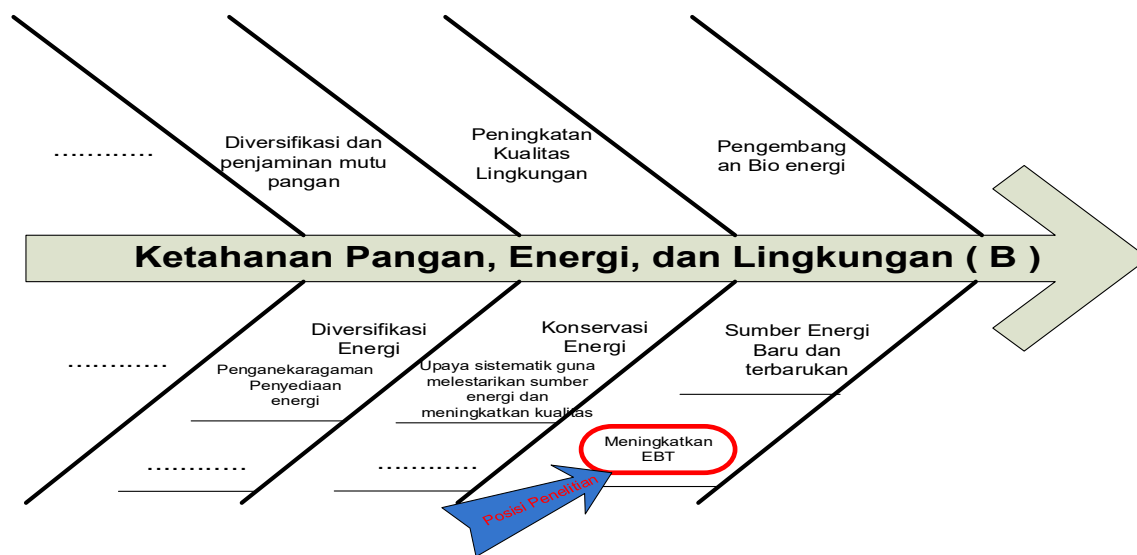
Sistem pemanfaatan energi angin sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu - Angin (PLTB) mempunyai prospek yang baik untuk unit-unit yang kecil yang akan diterapkan, terutama untuk tempat-tempat yang jauh dari jangkauan jaringan PLN, dan sulit untuk memperoleh bahan bakar. Dengan demikian unit Pembangkit Listrik Tenaga Angin juga merupakan alternatif penyediaan sarana listrik yang cukup baik.

Adapun beberapa keunggulan pembangkit jenis ini adalah: Terdapat banyak tempat yang mempunyai potensi angin yang baik, Biaya operasionalnya cukup murah, Tidak perlu bahan bakar dan tidak menimbulkan polusi, Namun demikian untuk dapat membangun instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tersebut tidaklah mudah mengingat kendala teknis yang dimilikinya masih cukup besar.

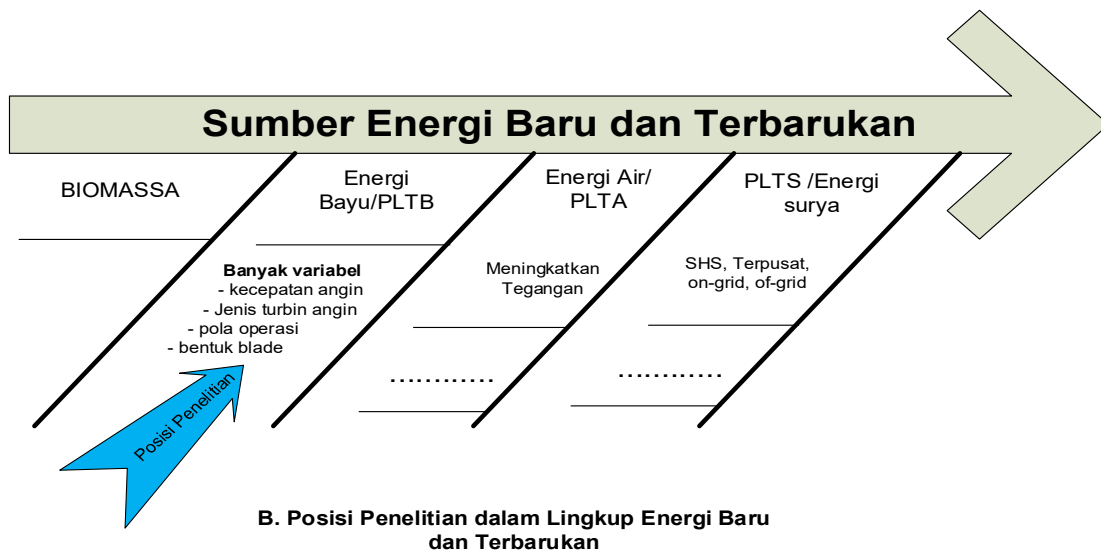
Melalui penelitian ini akan diketahui turbin angin yang cocok untuk daerah yang mempunyai karakteristi angin yang tertentu sehingga didapatkan energi yang optimal

Posisi Penelitian ini dalam RIP UNUD

Topik penelitian ini diambil sesuai dengan RIP Unud seperti gambar di bawah ini. Salah satu RIP unud adalah Ketahanan Pangan, Energi, dan Lingkungan. Lebih jauh dalam pengembangan energi di pilah-pilah lagi yaitu Sumber energi baru terbarukan, konservasi energi, dan diversifikasi energi.



A. Posisi Penelitian dalam RIP Unud



Gambar 1.1 Posisi penelitian dalam RIP Unud

Energi angin sebagai energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik mempunyai beberapa keuntungan dalam konversinya diantaranya: tidak mengguankan bahan bakar, renyuabel, termasuk energi bersih shg tak mengganggu lingkungan.

Seperti judul penelitian ini, Analisis Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Pada Pilot Project Smart Grid Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tinjauan pustaka ini akan diuraikan dua hal yaitu state of the art dari penelitian Analisis Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Pada Pilot Project Smart Grid Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana, serta penelitian pendahuluan yang telah dilakukan dan teori penunjang.

2.1 State of the Art Review

Penelitian mengenai pengaruh kecepatan angin terhadap daya *output* dari *wind turbine* telah banyak dilakukan. Berbagai latar belakang dan tujuan digunakan dalam penelitian tersebut, baik dengan menggunakan simulasi dari berbagai *software* maupun penelitian secara langsung dilapangan dengan tujuang untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Namun penelitian dan analisa mengenai performa *wind turbine* terhadap daya *output* dari 2 buah *wind turbine* dengan spesifikasi dan kecepatan angin yang sama masih terbatas.

Menurut penelitian yang di lakukan oleh Salih Mohammed Salih, Mohammed Qasim Taha, Mohammed K. Alawsajdengan judul penelitian ”*Performance analysis of wind turbine systems under different parameters effect*” dimana penelitian ini meneliti dan menganalisa daya *output* 2 buah *wind turbine* berbeda model yang dipengaruhi parameter kecepatan angin, temperatur angin, kerapatan angin, dan panjang *blade*. Pada penelitian ini, dilakukan untuk mempelajari kinerja *wind turbine* berdasarkan parameter cuaca yang berbeda. Hasil dari penelitian diektrasi dengan menggunakan program perangkat lunak *MATLAB* untuk menganalisa kinerja 2 *wind turbine*: Whisper-500 3.2KW dan NY-WSR1204 600W dengan spesifikasi yang sama. Parameter yang dapat mempengaruhi kinerja *wind turbine* yaitu : kerapatan udara, kecepatan angin, tekanan udara, suhu dan panjang *blade* dari *wind turbine*. Hasil matematika terkait parameter yang disebutkan sebelumnya dianalisis untuk menentukan sensitivitas daya *output* dari *wind turbine*. Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa karakteristik udara memberi efek yang sangat tinggi terhadap pada kekuatan mekanik dan daya *output* pada *wind turbine*, Kecepatan audara mempengaruhi gaya mekanik dari *blade wind turbine*. Panjang *blade* dari *wind turbine* mempengaruhi daya mekanik dan daya output listrik, dimana semakin panjang *blade* maka daya mekanik dan daya output listrik semakin besar. Maka banyak efek harus dipertimbangkan selama menganalisis kinerja *wind turbine*, seperti pisau turbin, kecepatan angin, kepadatan udara, tekanan, suhu, dan koefisien daya.

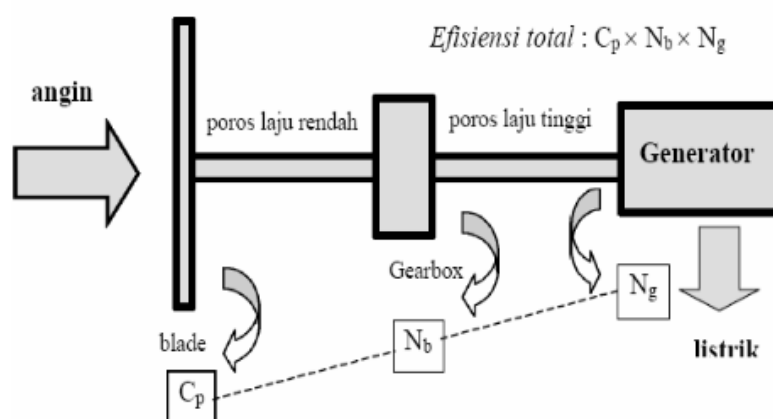
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh I N. Budiastara, IA. Dwi Giriantari, Wyn. Artawijaya, Cok. Indra Partha dengan judul “Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Nusa Penida Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan” yang di publikasi dalam Jurnal Bumi Lestari, Volume 9 No 2 tahun 2009 dilakukan penelitian pemanfaatan energi angin di pulau Nusa Penida

dimana menghitung panjang *blade* dari *wind turbine* yang sesuai dengan kecepatan angin di pulau Nusa Penida agar mendapatkan daya *output* sesuai dengan yang diinginkan. Hasilnya setelah melakukan perhitungan didapatkan 2 hasil. Jadi untuk menghasilkan daya 4,5 kW, dengan rata-rata kecepatan angin $V = 4,837$ m/s digunakan kincir dengan jari-jari minimal 3,54 m sedangkan untuk menghasilkan daya 10 kW, dengan kecepatan angin rata-rata $V = 4,837$ m/s digunakan kincir dengan jari-jari minimal 5,28 m. Biaya investasi untuk membangun PLTB memang cukup mahal. Harga satu unit kincir angin yang diberi nama EGRA (Energi Gratis) ini sekitar 60 juta rupiah. Biaya yang dibutuhkan tampak cukup besar, tetapi jika dihitung secara ekonomis, ternyata cukup menguntungkan. Karena memakai kincir angin, maka tidak ada pengeluaran untuk bahan bakar lagi. Biaya pemeliharaan relatif murah. Bandingkan jika memakai mesin diesel. Untuk biaya solar saja menghabiskan Rp.132.000 per hari, yang artinya $\text{Rp.132.000} \times 365 = \text{Rp. 48.180.000}$ per tahun. Belum termasuk biaya pemeliharaan mesin. Diprakirakan dalam waktu 2 tahun, manfaat dari kincir angin ini sudah terasa dan cukup menguntungkan.

2.2 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

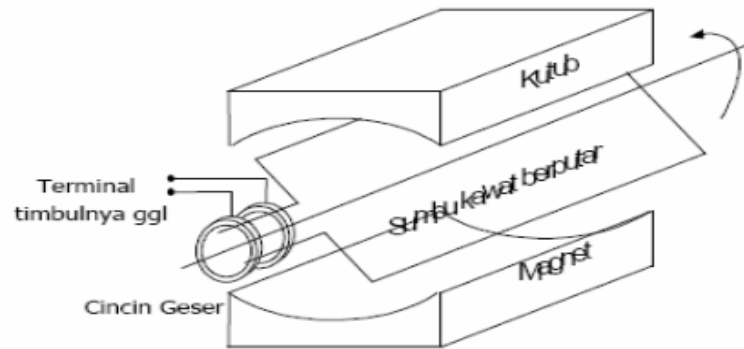
Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Pembangkit listrik tenaga bayu atau angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga angin mengkonversikan tenaga angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi gerak berupa putaran rotor dan poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi gerak yang berasal dari angin akan diteruskan menjadi gaya gerak dan torsi pada poros generator yang kemudian dihasilkan energi listrik. Turbin angin merupakan mesin penggerak yang energinya berasal dari angin.

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Turbin Angin

Prinsip kerja generator adalah memakai kaidah Hukum Faraday, yaitu apabila sebuah penghantar digerakkan di dalam sebuah medan magnet, maka kedua ujung penghantar tersebut akan timbul ggl induksi. Bila kedua ujungnya dihubungkan dengan beban, misalnya sebuah lampu, maka akan mengalir arus listrik dan timbul daya listrik. Dasar pembangkitan ggl ini seperti dilihat dalam gambar berikut :



Gambar 2.2 Prinsip Dasar Pembangkit GGL

Prinsip utamanya energi yang dihasilkan angin adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin. Hidayatullah dan Ningrum (2016) menyatakan bahwa energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(1)$$

Karena massa bisa diganti dengan kerapatan udara ρ , luar area A dan kecepatan angin v , maka dapat ditulis:

$$m = \rho Av \dots\dots\dots(2)$$

Sehingga daya yang dihasilkan oleh angin dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_w = \frac{1}{2}\rho Av^3 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- P_w = Daya angin (Watt)
- ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)
- A = Luas area turbin yang dilewati angin (m^2)
- V = Kecepatan angin (m/s)

Pada kenyataannya karena adanya rugi-rugi gesekan, kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor η_{rotor} akan lebih kecil lagi berkisar pada harga maksimum 0,45 saja. Maka daya yang dapat diserap oleh turbin angin adalah seperti rumus 4 dibawah.

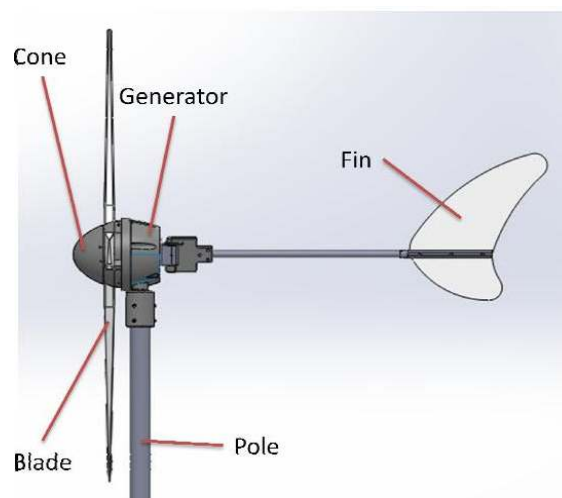
$$P_w = \frac{1}{2} \eta_{\text{rotor}} \rho A v^3 \dots\dots\dots(4)$$

Turbin angin yang berupa pada *Pilot Project Smart Grid in Microgrid* Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana adalah turbin angin dengan sumbu horizontal. Turbin angin sumbu horizontal mempunyai sumbu putar yang terletak sejajardengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal meliputi: sudu (*blade*), ekor (*tail*), tiang penyangga (*tower*), dan generator.

Blade pada turbin angin sumbu horizontal dibuat dengan material yang ringan supaya momen inersianya kecil sehingga mengakibatkan *blade* bisa berputar pada kecepatan angin yang rendah. Misalnya material *blade* yang digunakan berasal dari bahan kayu atau serat karbon. Semakin banyak jumlah *blade*, semakin cepat putaran poros turbin, tetapi torsi semakin kecil. Selain itu, banyaknya jumlah *blade* menyebabkan turbulensi aliran udara dan tingkat kebisingan akibat efek suara (*noise*) semakin besar.

Ekor pada turbin berfungsi untuk menstabilkan kondisi turbin ketika *blade* mulai berputar akibat gaya angin. Ekor akan membuat badan turbin selalu bergerak sehingga *blade* akan selalu searah dengan arah datangnya angin. Meskipun arah angin selalu berubah-ubah, dengan bantuan ekor akan menyebabkan *blade* selalu mengarah sesuai dengan arah datangnya angin.

Tower adalah tiang penyangga yang menghubungkan perangkat turbin angin dengan permukaan tanah. *Tower* dibuat dengan material yang sangat kuat agar dapat menahan beban akibat gaya berat turbin angin dan gaya dari angin. Generator berfungsi mengkonversikan energi kinetik dari angin menjadi energi listrik dengan mengkopel generator dengan *gearbox* dan *blade* dari *wind turbine*.



Gambar 2.3 Komponen *wind turbine*

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang terpasang pada *Pilot Project Smart Grid in Microgrid* Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayanaterdiri dari 10 buah turbin angin. Dari 10 turbin angin yang terpasang, 8 diantaranya adalah *Wind Turbine* TSD-500 buatan indonesia dan 2 diantaranya adalah *Wind Turbine* GV-500W buatan cina. Berikut merupakan spesifikasi dari *Wind Turbine* :

Tabel 2.1 Spesifikasi *wind turbine* TSD-500

<i>System Name</i>	TSD-500
<i>Turbine Type</i>	HAWT
<i>Maximum Power Output</i>	500 Wp at 12ms/s above
<i>Start Up Wind Speed</i>	2,5 m/s
<i>Cut in Wind Speed</i>	3 m/s
<i>Survival Wind Speed</i>	33 m/s
<i>Generator Type</i>	3-phase permanent magnet (Cogging-loss techenology)
<i>Number of Blade</i>	3 blades
<i>Blade Material</i>	Pine wood
<i>Maximum RPM</i>	1000 RPM
<i>Storage System</i>	24 V
<i>Weight of Turbine System (except pole)</i>	25 kg

(Sumber : LAN,2017)

Tabel 2.2 Spesifikasi *wind turbine* GV-500W

<i>Wind turbine model</i>	GV-500
<i>Rated power (W)</i>	500 W
<i>Max power (W)</i>	650 W
<i>Rated Rotor Speed (RPM)</i>	200 RPM
<i>Option Voltage (V)</i>	12-24V
<i>Blade Material & Quantitiy</i>	FRP/3PCS
<i>Rated Wind Speed (m/s)</i>	10 m/s
<i>Start Wind Speed (m/s)</i>	1 m/s
<i>Working Wind Speed</i>	2-25 m/s
<i>Safety Wind Speed</i>	50 m/2
<i>Generator Style</i>	3 phase PM generator
<i>Generator Type</i>	Three AC out rotor disc permanent magnet direct drive generator
<i>Protection Method</i>	Electromagnetic disc brake+PWM

(Sumber : Qingdao Greef New Energy Equipment Co., Ltd.)

2.3 Potensi Energi Angin

Energi merupakan suatu kekuatan yang dimiliki oleh suatu zat sehingga zat tersebut mempunyai pengaruh pada keadaan sekitarnya. Menurut mediumnya dikenal banyak jenis energi. Diantaranya, energi gelombang, energi arus laut, energi kosmos, energi yang terkandung pada senyawa atom, dan energi-energi lain yang bila dimanfaatkan akan berguna bagi kehidupan manusia. Salah satunya adalah energi angin yang jumlahnya sangat tak terbatas dan banyak dimanfaatkan untuk meringankan kerja manusia. Angin memberikan energi gerak sehingga mampu menggerakkan kincir angin, perahu layar, dan bahkan bisa dimanfaatkan untuk pembangkit listrik yang berupa turbin angin. Keberadaan energi angin ini terdapat di atmosfer atau lapisan udara bumi yang mengandung banyak partikel udara dan gas

Satuan: MW			Satuan: MW		
No.	Provinsi	Potensi	No.	Provinsi	Potensi
1	Nusa Tenggara Timur	10.188	18	Kepulauan Riau	922
2	Jawa Timur	7.907	19	Sulawesi Tengah	908
3	Jawa Barat	7.036	20	Aceh	894
4	Jawa Tengah	5.213	21	Kalimantan Tengah	681
5	Sulawesi Selatan	4.193	22	Kalimantan Barat	554
6	Maluku	3.188	23	Sulawesi Barat	514
7	Nusa Tenggara Barat	2.605	24	Maluku Utara	504
8	Bangka Belitung	1.787	25	Papua Barat	437
9	Banten	1.753	26	Sumatera Barat	428
10	Bengkulu	1.513	28	Sumatera Utara	356
11	Sulawesi Tenggara	1.414	29	Sumatera Selatan	301
12	Papua	1.411	30	Kalimantan timur	212
13	Sulawesi Utara	1.214	31	Gorontalo	137
14	Lampung	1.137	27	Kalimantan Utara	73
15	DI. Yogyakarta	1.079	32	Jambi	37
16	Bali	1.019	33	Riau	22
17	Kalimantan Selatan	1.006	34	DKI Jakarta	4
				Total	60.647,0

Sumber : Lampiran Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017

Gambar 2.4 Potensi angin Indonesia

Sumber : Lampiran Peraturan Presiden No 22 Tahun 2017

Kondisi atmosfer atau lapisan udara yang menyelimuti bumi mengandung berbagai macam molekul gas dan terdiri dari beberapa lapisan. Lapisan atmosfer yang paling rendah berupa troposfer. Lapisan troposfer sangat tipis bila dibandingkan dengan diameter bumi. Bumi memiliki diameter sekitar 12.000 km lebih besar dibandingkan troposfer yang memiliki ketebalan sekitar 11 km. Pada lapisan troposfer, semua peristiwa cuaca termasuk angin terjadi. Energi angin merupakan sumber daya alam yang terbarukan yang memiliki jumlah yang tidak terbatas di sekitar permukaan bumi.

Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari. Pemanasan bumi oleh sinar matahari menyebabkan perbedaan massa

jenis(ρ) pada udara. Perbedaan massa jenis ini menyebabkan perbedaan tekanan pada udara sehingga akan terjadi aliran fluida dan menghasilkan angin. Kondisi aliran angin dipengaruhi oleh medan atau permukaan bumi yang dilalui oleh aliran angin dan perbedaan temperatur permukaan bumi.

2.3.1 Pengukuran Angin

Parameter yang diukur dari angin umumnya adalah kecepatan dan arah angin, kelembaban dan tekanan udara termasuk dalam parameter pengukuran namun tidak berpengaruh besar pada proses konversi energi angin. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer. Jenis-jenis anemometer cukup banyak dan anemometer jenis mangkuk adalah yang umum digunakan.



Gambar 2.5 Anemometer jenis mangkuk

Anemometer ini pertama kali diperkenalkan oleh Leon Battista Alberti dari Italia pada tahun 1450. Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka. Pada saat tertiup angin, baling-baling atau mangkok yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai arah angin. Makin besar kecepatan angin meniup mangkok-mangkok tersebut, makin cepat pula kecepatan berputarnya piringan mangkok-mangkok.

Anemometer mangkok terdiri dari tiga mangkok yang berputar ketika dilalui angin berdasarkan perbedaan besar gaya drag yang terdapat pada masing-masing mangkok terhadap arah angin. Jumlah putaran setiap satuan waktu direkam dan dinyatakan dalam besaran kecepatan angin. Bersamaan dengan anemometer jenis mangkok ini biasanya terdapat komponen penunjuk arah yang bebas berotasi sesuai dengan arah angin karena terdapat ekor pada bagian belakang alat tersebut. Dari jumlah putaran dalam satu detik maka dapat diketahui kecepatan anginnya. Di dalam anemometer terdapat alat pencacah yang akan menghitung kecepatan angin. Untuk menghitung kecepatan angin pada alat anemometer yaitu menggunakan rumus keliling lingkaran dan kecepatan.

Leon Battista Alberti menyatakan kecepatan linier angin dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$v = r\omega_b \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

v = Kecepatan Linier (m/s)

ω_b = Kecepatan Sudut Baling – baling atau Mangkok (rad/detik)

r = Jari – jari Piringan

Dengan banyaknya pulsa dihitung dalam satuan waktu maka:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

N = Jumlah Putaran Permenit (rpm)

ω = Kecepatan Sudut Piringan (rad/detik)

Karena poros baling – baling dan piringan sama, maka:

$$\omega = \omega_b \dots\dots\dots(7)$$

$$v = r\omega_b \dots\dots\dots(8)$$

$$v = r \frac{2\pi}{p} f \text{ (m/s)} \dots\dots\dots(9)$$

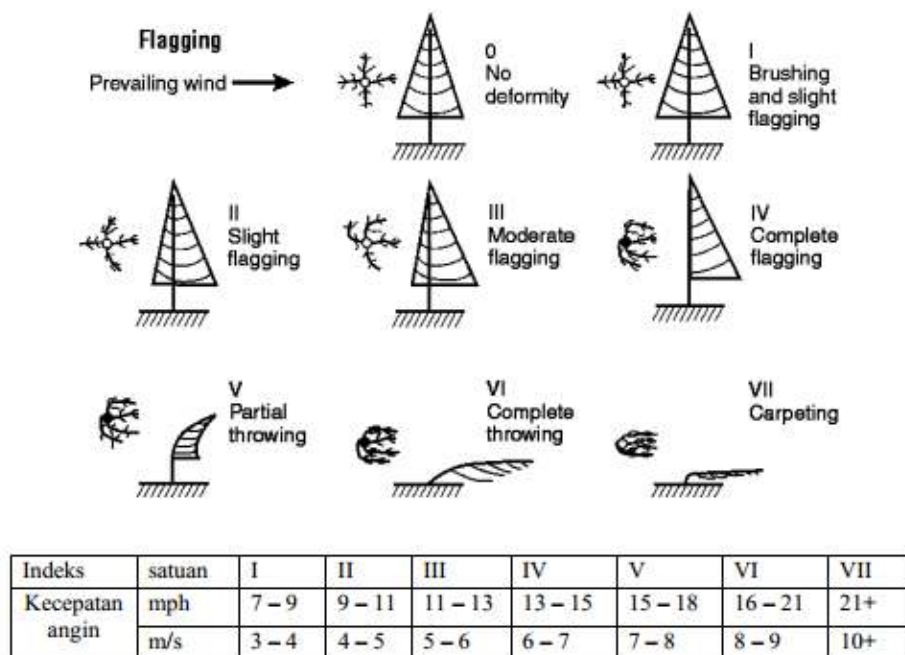
Keterangan:

f = Frekuensi, jumlah pulsa perdetik (Hz)

p = Jumlah celah pada piringan

Pembacaan skala kecepatan angin dapat dilakukan dengan melihat skala pembacayang terdapat pada anemometer atau dengan bantuan komputer untuk anemometerjenis mangkok yang bisa *logging* dengan komputer.

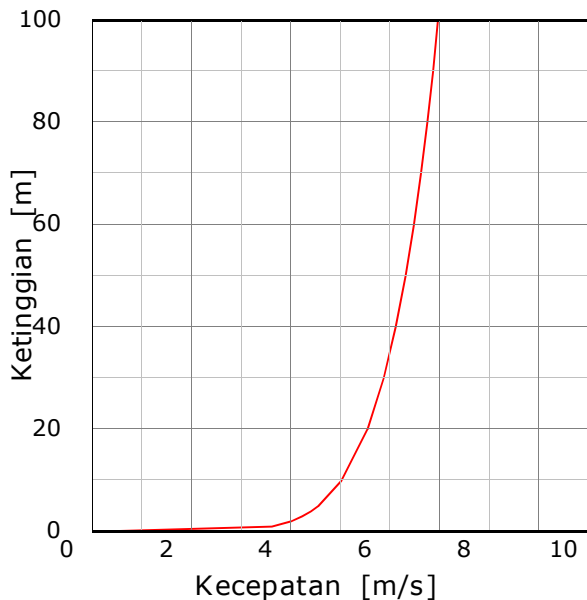
Berdasarkan buku *WindTurbine Technology*Griggs-Putnam membuat indeks kecepatan angin berdasarkan deformasi yangterjadi pada pohon.



Gambar 2.6 Indeks beserta deformasi yang terjadi pada pohon

Sumber : WindTurbine Technology

Angin seperti fluida yang lain pada umumnya mempunyai profil geseran atau profil kecepatan ketika mengalir melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Pada tepat di permukaan bumi, kecepatan relatif angin terhadap permukaan bumi sama dengan nol. Kemudian kecepatan ini menjadi semakin tinggi sebanding ketinggian dari permukaan bumi. Ada dua jenis profil geseran angin yang biasa digunakan untuk menghitung energi: profil geseran angin eksponensial (exponential wind shear profile) dan profil geseran angin kekasaran permukaan (surface roughness wind shear stress).

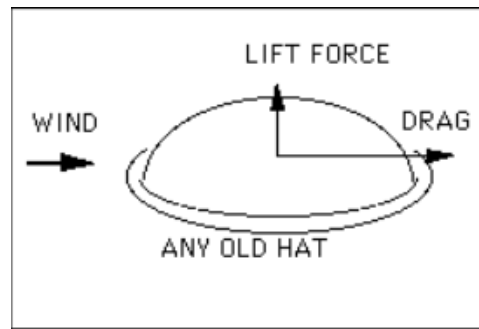


Gambar 2.7 Profil umum geseran angin

2.3.2 Gaya Aerodinamik

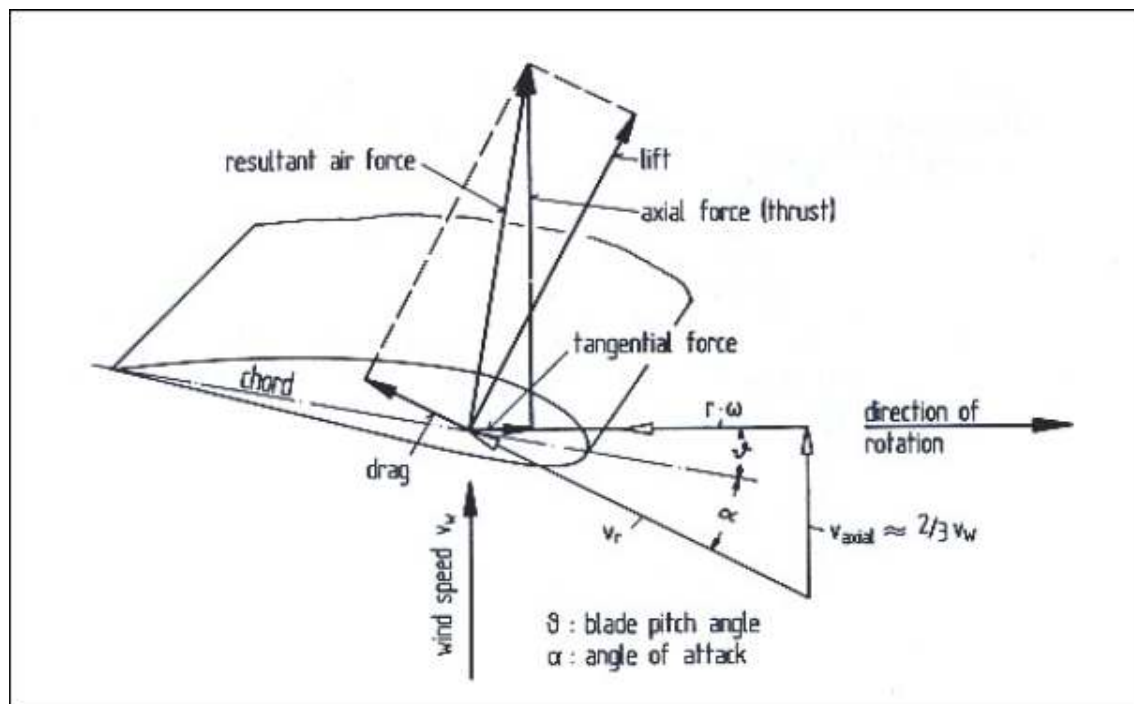
Blade atau rotor berfungsi untuk menghasilkan putaran akibat gaya angin dan menggerakkan poros turbin dan poros generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Bentuk *blade* turbin angin menyerupai *airfoil* yang memanjang dari permukaan poros rotor sampai ujung dari *blade* tersebut. *Airfoil* adalah bentuk aerodinamik yang dianggap sangat efektif untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*). Sebagai contoh sebuah *airfoil* adalah penampang potongan sayap pesawat dengan bidang sejajar kecepatan terbang (arus bebas) dan tegak lurus sayap.

Blade turbin angin diusahakan memiliki kekasaran yang sama pada setiap permukaannya sehingga gaya *lift*nya bisa tinggi. Bagian pangkal *blade* dicengkeram oleh *hub* dengan menggunakan baut. Jari-jari *blade* adalah jarak *blade* dari permukaan poros rotor sampai ujung dari *blade*. Jika diperhatikan secara cermat seluruh permukaan salah satu *blade*, maka akan tampak bahwa kedua permukaan bentuknya tidak simetris dan membentuk pola aerodinamik.



Gambar 2.8 Fenomena drag dan lift
(Sumber : Scoraig Wind Electric, Hugh Piggotts)

Istilah *drag* merupakan gaya yang berasal dari energi angin yang mendorong lurus *blade* searah gerakan angin. Gaya drag pada dasarnya digunakan oleh turbin angin. Hal ini mudah untuk dipahami bagaimana gaya ini menyebabkan *blade* bergerak. Namun demikian, gerakan rotor yang terjadi sangat rendah dan *blade* yang sebenarnya bergerak melawan arah angin akan memperlambat berakhirnya gerak rotor. Selain itu, terdapat gaya lain berupa *lift* yang selalu bekerja pada sudut airfoil yang mengarahkan *blade* terangkat akibat gerak angin. *Blade* turbin angin aksial pada dasarnya tidak bergerak searah gerak angin sehingga tidak memerlukan gaya drag. Tetapi, *blade* turbin ini menggunakan efek gaya lift.



Gambar 2.9 Penampang *blade*
(Sumber : Wind Turbines, Erich Hau)

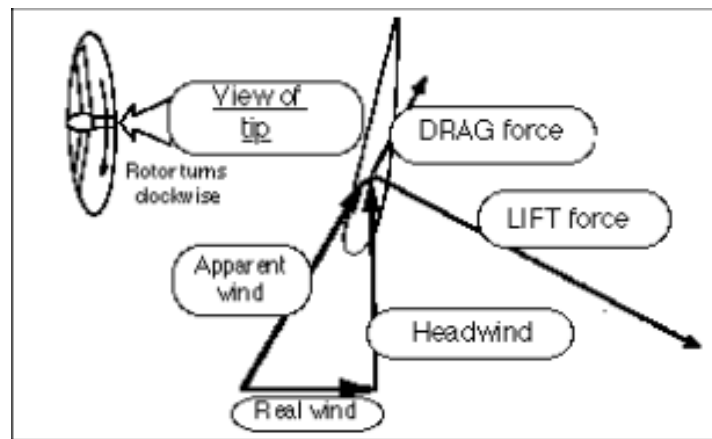
Untuk memudahkan perhitungan fenomena *drag* dan *lift*, maka dengan metoda numerik (Gerhart), diperkenalkanlah *drag and lift coefficient* (koefisien gayatarik dan gaya lift) yang dilambangkan dengan C_D dan C_L . Besarnya C_L dan C_D bergantung dari bentuk melintang *blade*

yang digunakan dan sudut serang (α). Secara matematis menurut buku *Wind Turbines*, Erich Hau (2013), hubungan gaya drag (F_D) dan gaya lift (F_L) dengan koefisiennya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A \dots \dots \dots (10)$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho U^2 A \dots \dots \dots (11)$$

dimana ρ adalah densitas udara, A adalah luas penampang *blade*, dan U adalah kecepatan angin. Besarnya nilai C_L dan C_D bergantung dari penampang melintang *blade* dan sudut serang (*angle of attack*). Hubungan antara C_L dan C_D terhadap sudut serang (α) diukur dan ditentukan secara eksperimen dan sudah dibukukan dalam suatu katalog.



Gambar 2.10 Skematik gaya drag dan lift pada *blade* turbin angin
(Sumber : Scoraig Wind Electric, Hugh Piggotts)

2.4 Power Coefficient dan Tip Speed Ratio

Desain suatu aerodinamik pada turbin angin memerlukan banyak pengetahuan fisika dasar tentang hukum konversi energi. Seorang perancang akan menghadapi permasalahan tentang hubungan antara bentuk rotor atau *blade*, jumlah *blade*, dan sifat-sifat aerodinamik.

Teori momentum sederhana (teori Betz's) memudahkan teori momentum pada *blade* turbin secara pemodelan aliran dua dimensi. Aliran udara ini akan menyebabkan defleksi pada *airfoil*. Gerak dari angin ini akan menggerakkan *blade* sehingga timbul gerak putar pada *blade* yang dikenal dengan *spin* (putaran).

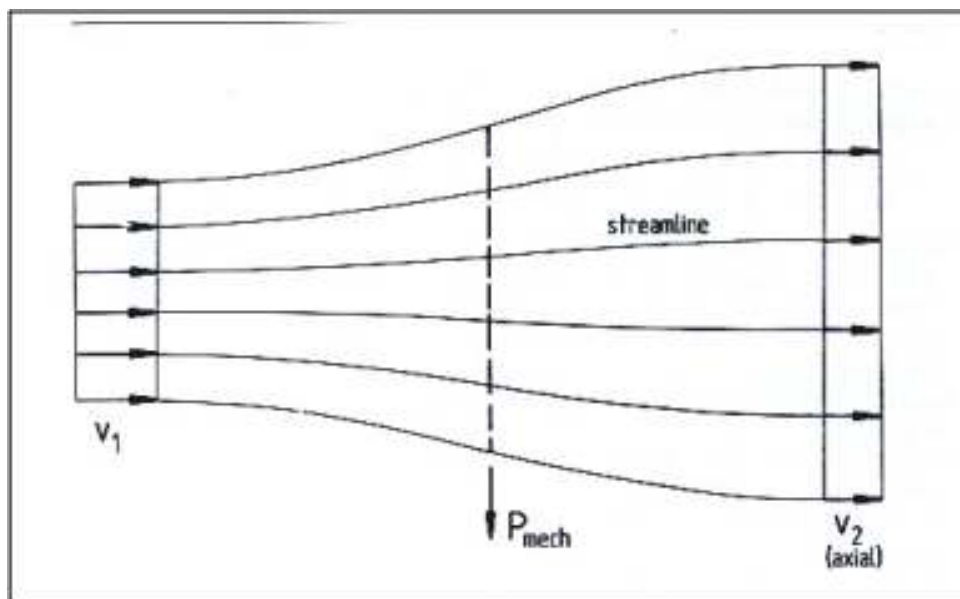
Power coefficient (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada *blade* akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh gaya lift pada aliran udara. Secara matematis menurut buku *Wind Turbines*, Erich Hau (2013), hubungan ini dapat dituliskan:

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \dots \dots \dots (12)$$

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan :

- C_p = Koefisien daya
 P = Daya mekanik yang mampu dihasilkan rotor (watt)
 P_0 = Daya mekanik yang dihasilkan oleh angin melalui *blade* (watt)
 ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
 A = luas penampang bidang putar *blade* (m^2)
 v_1 = kecepatan aliran udara sebelum melewati *blade* (m/s)
 v_2 = kecepatan aliran udara setelah melewati *blade* (m/s)



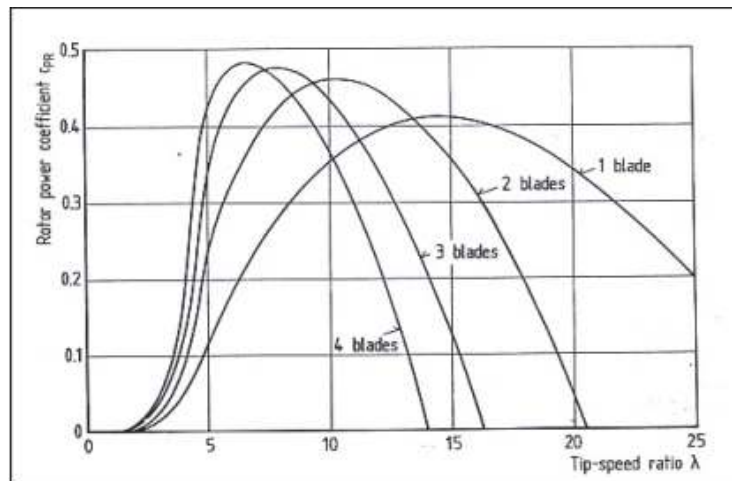
Gambar 2.11 Kecepatan udara masuk dan keluar turbin

(Sumber : Wind Turbines, Erich Hau,2013)

Pada gambar 2.11 merupakan aliran udara sebelum melewati *blade* (v_1) dan aliran udara sebelum melewati *blade* (v_2). Energi yang terkandung pada *spin* (putaran *blade*) akan mengurangi proporsipenggunaan energi total yang terkandung pada aliran. Secara teori memuntum, *powercoefficient* dari turbin harus lebih kecil daripada harga yang ditentukan oleh Betz's (sekitar 0,593) akibat terjadinya *losses* pada mekanisme gerak turbin angin. *Powercoefficient* bergantung pada rasio antara komponen energi gerak putar *bladedan* gerakrotasi pada aliran udara. Rasio ini didefinisikan sebagai kecepatan tangensial *bladerotor* terhadap kecepatan aksial atau kecepatan angin dan didefinisikan sebagai *tipspeed ratio* (λ), yang secara umum direkomendasikan pada kecepatan tangensial dariujung *blade*.

$$\text{Tip speed ratio} = \frac{\pi dn}{60v} \dots \dots \dots (14)$$

dimana d adalah diameter *blade*, n adalah putaran rotor atau *blade*, dan v adalah kecepatan angin.



Gambar 2.12 Kurva hubungan *Tip-speed ratio* (λ) terhadap *Rotor power coefficient* (C_{PR}) pada berbagai jumlah *blade*
(Sumber : Wind Turbines, Erich Hau)

Pada gambar 2.10 merupakan hubungan *Tip-speed ratio* (λ) terhadap *Rotor power coefficient* dimana jumlah *blade* lebih dari satu memiliki *Rotor power coefficient* yang tinggi namun memiliki *Tip-speed ratio* yang rendah.

Kecepatan aksial V_a pada rotor turbin angin dengan kecepatan tangensial u pada radius dari penampang *blade* dikombinasikan menjadi kecepatan aliran total V_r . Elemen dasar pada kurva daya rotor adalah *power coefficient* (C_p) yang merupakan fungsi dari *tip speed ratio* untuk semua spesifikasi turbin atau mesin angin. Pada beberapa sumber buku *power coefficient* didefinisikan sebagai *rotor power coefficient* (C_{PR}), sehingga besarnya nilai C_p dan C_{PR} adalah sama. Pada penampang *blade* terdapat sudut serang (*angle of attack*) dan sudut pitch *blade* (β). Sudut serang adalah parameter aerodinamik dan sudut pitch *blade* adalah untuk parameter desain.

Perhitungan keseimbangan gaya meliputi tidak hanya pada drag dan lift *airfoil* murni, tetapi juga meliputi semua komponen drag dan lift lain yang terdapat di sekitar *blade*. Drag resultan merupakan fungsi dari koefisien lift lokal dan aspek rasio dari *blade*. Perhitungan koefisien drag dan lift aerodinamik lokal, menurut teori mementumpada *blade* (teori Betz's), menyangkut distribusi gaya aerodinamik sepanjang *blade*. Hal ini sebenarnya ada dua komponen, yaitu: satu pada bidang putaran rotor yang dinamakan dengan distribusi gaya tangensial, dan satu lagi adalah distribusi gaya dorong.

Pada dasarnya besarnya tekanan yang terjadi antara ujung (*tip*) dengan pangkal (*top*) *blade* berbeda. Dengan mengetahui sudut pitch *blade* (β), dapat ditentukan besarnya lebar *blade*. Besarnya lebar *blade* merupakan fungsi dari sudut pitch dan *tip speed ratio*. Pada prosesnya, setiap *blade* memiliki lapisan angin tertentu. Untuk jari-jari r yang kecil, jumlah angin yang melapisi *blade* akan lebih kecil. Secara matematis, besarnya *blade* (chord) dapat dinyatakan dengan:

$$C = \frac{16\pi R(R/r)}{9\lambda^2 B} \dots\dots\dots(15)$$

dimana C adalah ketebalan *blade*, r adalah jari-jari *blade*, R adalah jari-jari total turbin angin, dan B adalah jumlah *blade*.

2.5 Karakteristik Daya Rotor

Teori momentum sederhana (teori Betz's) telah menyediakan persamaan dasar untuk perhitungan besarnya output daya mekanik dari rotor (*mechanical power output*). Dengan menggunakan *power coefficient* C_P , daya rotor dapat dihitung sebagai fungsi dari kecepatan angin.

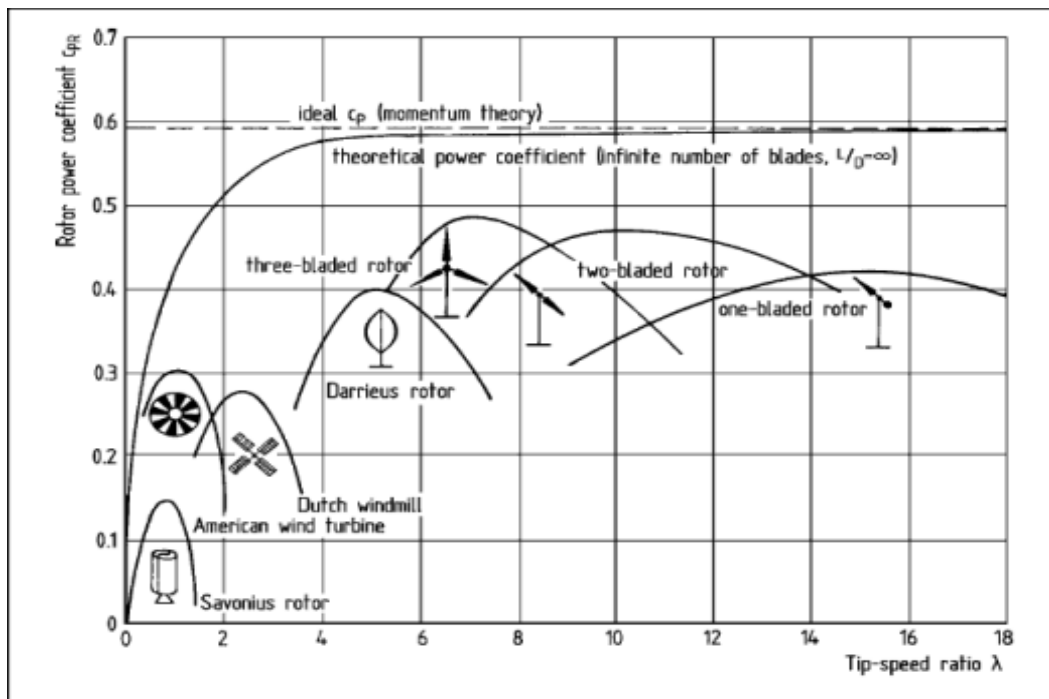
$$P_R = C_P \frac{\rho}{2} v_w^3 A \dots \dots \dots (16)$$

$$\text{Atau, } P_R = C_P \eta \frac{\rho}{2} v_w^3 A \dots \dots \dots (17)$$

Keterangan :

- P_R = Daya rotor (watt)
- A = Luas putar *blade* (m^2)
- V_w = Kecepatan angin (m/s)
- C_P = Koefisien daya rotor
- ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)
- η = Efisiensi elektrik dan mekanik *wind turbine*

Pada gambar 2.11 merupakan hubungan antara *Tip-speed ratio* terhadap *Rotor power coefficient* (C_{PR}) pada berbagai jenis turbin angin dimana *wind turbine* dengan tipe *three – bladed rotor* memiliki *Rotor power coefficient* dan *Tip-speed ratio* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe *darrieus rotor*.



Gambar 2.13 Kurva hubungan antara *Rotor power coefficient* (C_{PR}) terhadap *Tip-speed ratio* pada berbagai jenis turbin angin

(Sumber : Wind Turbines, Erich Hau)

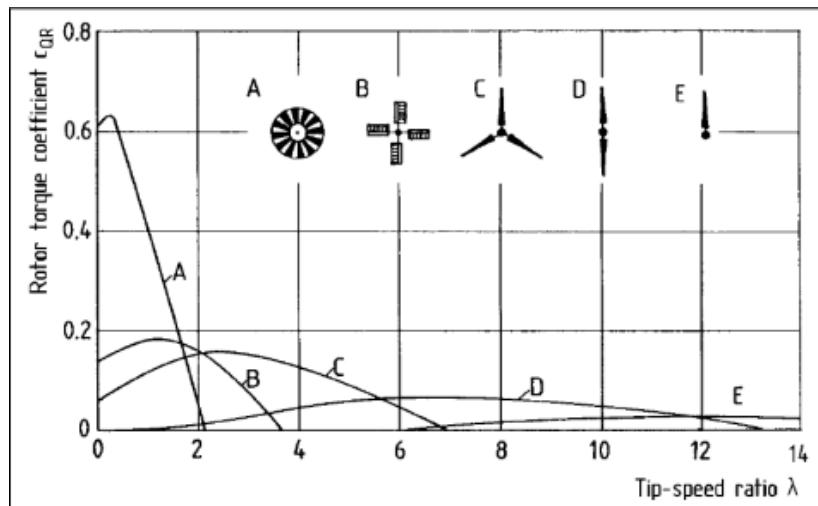
Parameter penting lain adalah *performance* dari rotor. Dalam hal ini adalah torsi rotor yang terjadi. Secara analogis, Torsi rotor dapat dihitung dengan menggunakan koefisien torsi (C_Q). Secara matematis, dapat ditulis:

$$M = C_Q \frac{\rho}{2} v_w^2 AR \dots \dots \dots (18)$$

dimana radius rotor, R , adalah parameter referensi. Dari persamaan tersebut didapat hubungan antara koefisien daya rotor dan koefisien torsi.

$$C_p = \lambda C_Q \dots \dots \dots (19)$$

Kurva daya rotor dan kurva torsi adalah gambaran karakteristik dari setiap konfigurasi rotor. Pada gambar 2.12 merupakan hubungan *Rotor power coefficient* terhadap *Tip-speed ratio* pada berbagai jumlah *bladed* dimana *wind turbine* jenis A memiliki *Rotor power coefficient* yang tinggi namun memiliki *Tip-speed ratio* yang rendah.



Gambar 2.14 Kurva hubungan *Rotor power coefficient* (C_{PR}) terhadap *Tip-speed ratio* pada berbagai jumlah *blade*.

(Sumber : Wind Turbines, Erich Hau)

Parameter utama yang mendominasi penjelasan tentang C_p adalah jumlah *blade*, *chord length distribution of blade* (panjang garis chord *blade*), karakteristik aerodinamik, *twist variation* (variasi melintir) dari *blade*.

2.6 Generator

Untuk menghasilkan energi listrik dari putaran turbin, perangkat turbin angin harus menggunakan generator. Generator adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja generator adalah menjadikan medan magnet yang ada di sekitar konduktor mengalami perubahan atau fluktuasi, sehingga timbul tegangan listrik. Magnet yang berputar disebut sebagai rotor dan konduktor yang diam disebut sebagai stator.

Dari segi sifat kemagnetan, generator dibagi menjadi 2 jenis, yaitu generator magnet tetap dan generator magnet sementara. Pada generator dengan magnet tetap, sifat kemagnetannya tidak berubah dan tidak mudah hilang. Untuk membangkitkan listrik dengan generator ini, dilakukan dengan memutar

poros generator supaya menyebabkan fluktuasi magnet dan dihasilkan tegangan listrik. Untuk generator dengan magnet sementara, sifat kemagnetannya mudah hilang. Sifat medan magnet yang terjadi pada generator jenis ini dihasilkan dengan induksi. Untuk membangkitkan daya listrik, generator harus diberi arus listrik ketika kumparan magnetnya berputar.

Dari segi arus listrik yang dihasilkan, generator dibagi 2, yaitu generator arus bolak-balik (AC) dan generator arus searah (DC). Generator arus bolak-balik (AC) menghasilkan tegangan yang arahnya bolak-balik dan bila dihubungkan dengan beban akan menimbulkan arus yang bolak-balik pula. Generator AC dapat menghasilkan daya pada putaran yang bervariasi bergantung pada spesifikasi generator itu sendiri.

Pada usulan skripsi ini, generator *wind turbine* pada *Pilot Project Smart Grid in Microgrid* Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana menggunakan generator AC 3 fasa dengan menggunakan magnet permanen. Generator jenis ini disebut juga *Permanent Magnet Generator (PMG)* yang dapat menghasilkan tegangan dan daya listrik pada putaran yang rendah. Berikut merupakan rumus perhitungan daya generator 3 fasa.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots (20)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (21)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots (22)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (Watt)

S = Daya Semu (VA)

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

$\sin \phi$ = Faktor Daya

BAB III. METODE

3.1 Rancangan Penelitian

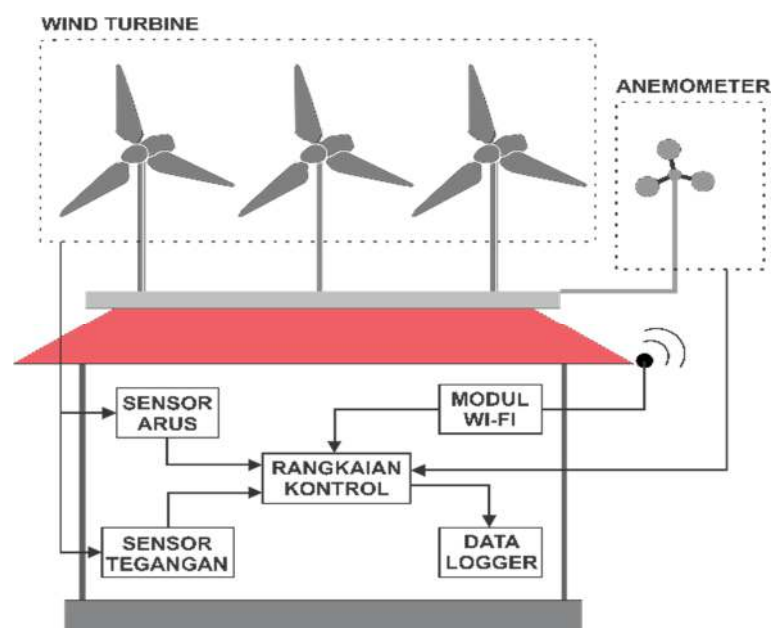
Penelitian ini direncanakan akan dilakukan pada tahun 2019 dengan kegiatan utama melakukan pengukuran unjuk kerja PLTB yang diawali dengan merancang sistem pengukuran. Tahap Penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Program Studi Teknik Elektro Unud terhadap dua jenis Wind Turbin dengan kapasitas 500Watt.
2. Tahap pertama akan dilakukan perancangan sistem monitoring PLTB
3. Install sistem monitoring pada Wind Turbin
4. Pengambilan data Tegangan, Arus, dan Kecepatan angin
5. Analisis unjuk kerja wind turbin

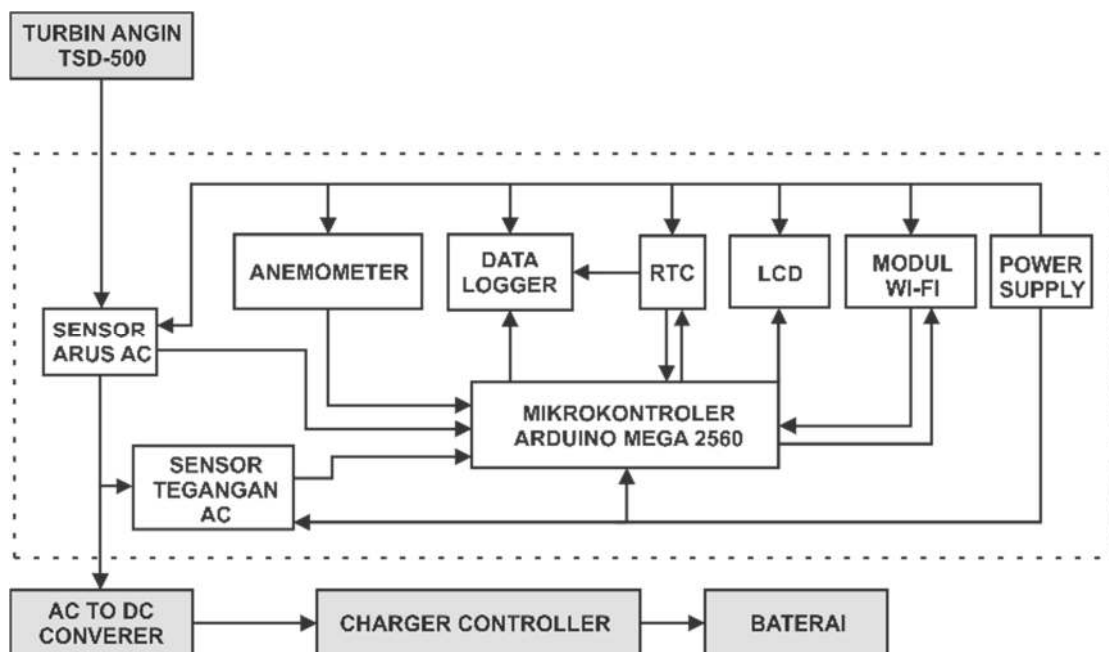
Berikut adalah penjelasan dari pemodelan yang dirancang.

1. Sensor arus, sensor tegangan dan sensor kecepatan angin akan bekerja secara bersamaan selama *power supply* tersedia.
2. Rangkaian *data logger* akan menyimpan waktu dan data - data hasil pengukuran tersebut.
3. *User* atau pengguna dapat mengetahui data pengukuran kecepatan angin, arus dan tegan listrik pada PLTB di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana dengan cara mendownload data dari data logger.

Blok diagram rancangan perangkat keras sistem monitoring.



Gambar 3.1 Rancangan perangkat keras



Gambar 3.2 Rangkaian Data Logger

3.2 Indikator Penelitian

Untuk mengukur keberhasilan penelitian dilakukan pengukuran terhadap indikator capaian dari pelaksanaan penelitian seperti terlihat pada tabel berikut.

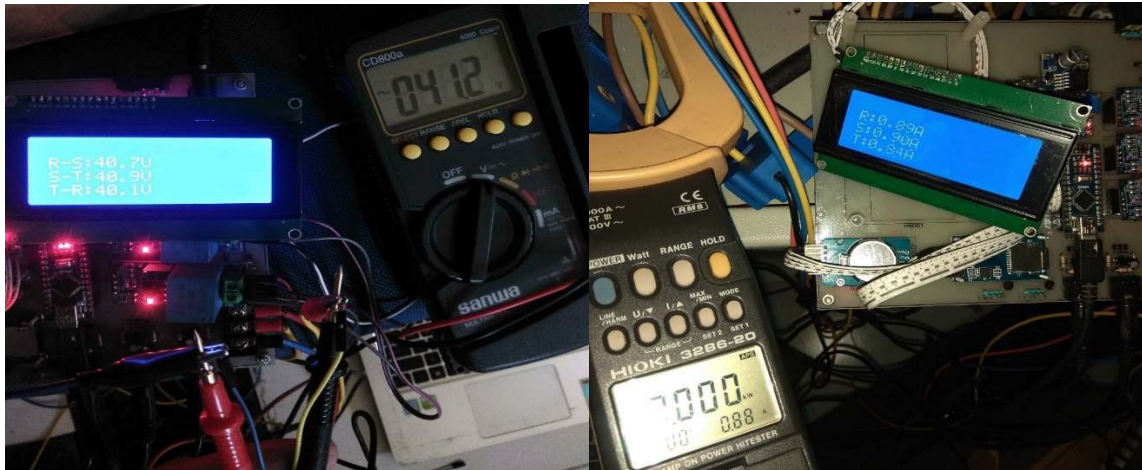
Tabel 3.1 Indikator penelitian

No	Indikator	Target (%)	Capaian (%) Oktober
1	Perancangan sistem monitoring	15	15
2	Tes hasil rancangan	15	15
3	Instalasi sistem monitoring	15	15
4	Pengukuran, tegangan, arus, kecepatan angin	30	30
5	Analisis	15	15
7	Publikasi	10	10
8	Laporan	10	10
	Total	100	100

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Tes hasil perancangan alat

Dari hasil tes rancangan yang telah direalisasi dan diinstal pada system smartgrid di Teknik Elektro Fakultas Teknik Unud menunjukkan hasil rancangan sesuai dengan perencanaan dan hasil pengukuran valid. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengukuran arus dan tegangan yang dikonfirmasi atau dibandingkan dengan dengan alat ukur tank ampere menunjukkan hasil yang mendekati sama.



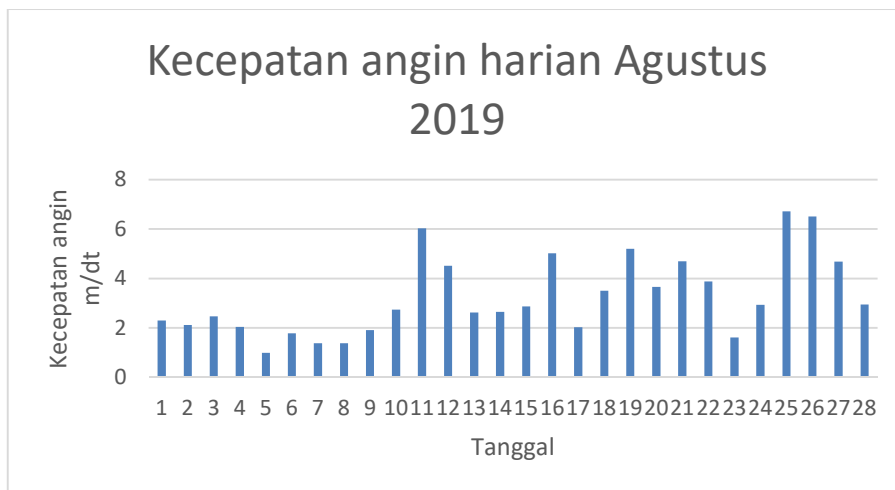
Gambar 4.1 Validasi hasil pengukuran

4.2 Hasil pengukuran kecepatan angin

Performa pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) bisa diprediksi dari kecepatan angin yang ada pada lokasi pembangkit tersebut. Hasil pengukuran kecepatan angin di teknik elektro pada bulan maret dan april seperti dalam Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 di bawah.



Gambar 4.2 Kecepatan angina rata-rata harian pada bulan Maret



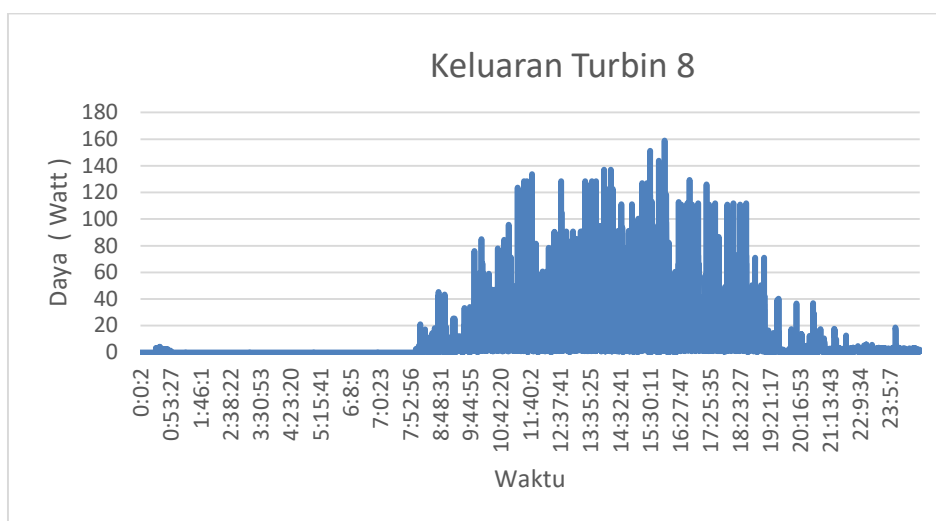
Gambar 4.3 Kecepatan angina rata-rata harian pada bulan Agustus

Dari kedua gambar kecepatan angin rata-rata selama sebulan di atas dapat dikatakan bahwa kecepatan angina di lokasi teknik elektro tidak konstan atau sangat bervariasi. Kecepatan angin seperti ini merupakan pertimbangan dalam memilih jenis dan kapasitas pembangkit yang akan dibangun. Kalau dilihat dari rata-rata selama 2 bulan maka kecepatan angin sebesar 3.5 m/dt merupakan nilai yang perlu mendapat pertimbangan untuk jenis pembangkit dengan skala kecil per unit.

4.3 Hasil Pengukuran Keluaran Daya Turbin

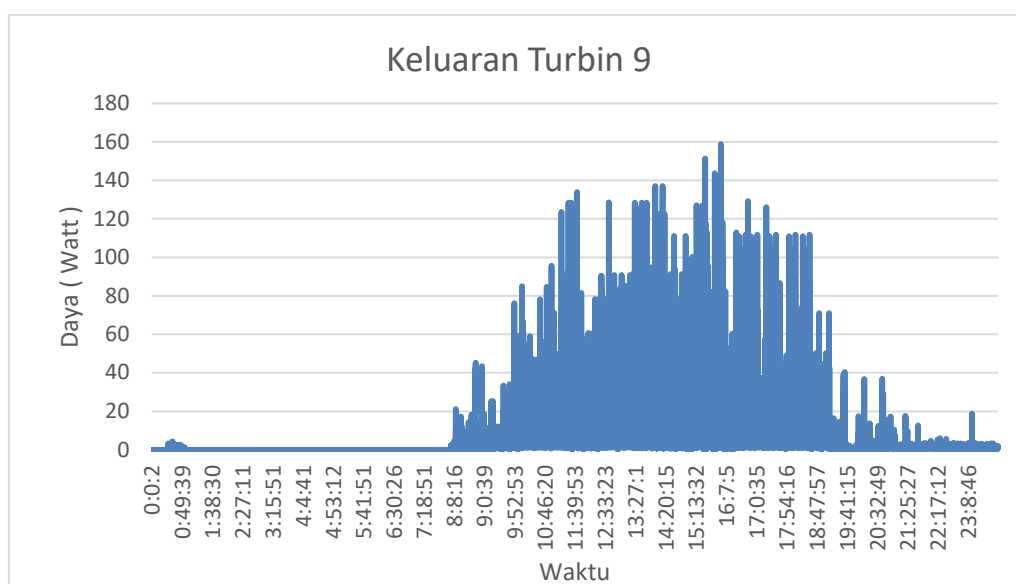
4.3.1 Skenario 1

Skenario 1 merupakan pengukuran output dimana arah angina sejajar dengan konfigurasi turbin (arah angin dari timur). Hasil pengukuran keluaran turbin tanggal 28 Agustus 2019 dengan menggunakan data looger wind turbin 8 (dari timur) setelah diplot dalam garfik berikut.



Gambar 4.4 Grafik keluaran turbin 8

Dari grafik terlihat bahwa pada jam 0.00 sampai 7.40 tidak menghasilkan daya yang artinya angin tidak cukup untuk menghasilkan daya / kecepatan angin di bawah cutoff turbin. Selanjutnya setelah jam 7.40 sampai jam 15 keluarannya naik secara fluktuatif dan setelah itu turun sampai tengah malam. Total energy yang diperoleh adalah 155.685,43 watt selama satu hari kalau dibandingkan dengan kapasitas maksimum turbin 500 watt sehingga selama satu hari hanya 4,2 % energy yang dihasilkan. Kalau diperhatikan kecepatan angin pada bulan agustus seperti gambar 4.3 di atas maka rata-rata kecepatan angina tanggal 28 kurang lebih 2,9 m/dt. Hal ini yang menyebabkan rendahnya keluaran pembangkit pada hari ini.



Gambar 4.5 Grafik keluaran turbin 10

Dari hasil pemantauan dengan menggunakan data looger maka keluaran pembangkit 9 lebih kecil 1,17 % dari pembangkit 8. Hal ini disebabkan angin yang didapatkan oleh pembangkit 9 adalah angin setelah digunakan oleh pembangkit 8 (arah angin dari timur ke barat) yang kerapatannya sudah pecah sehingga kekuatannya untuk mendorong baling baling sudah berkurang. Dan jarak antara pembangkit 8 dan 9 cukup dekat.

4.3.2 Skenario 2

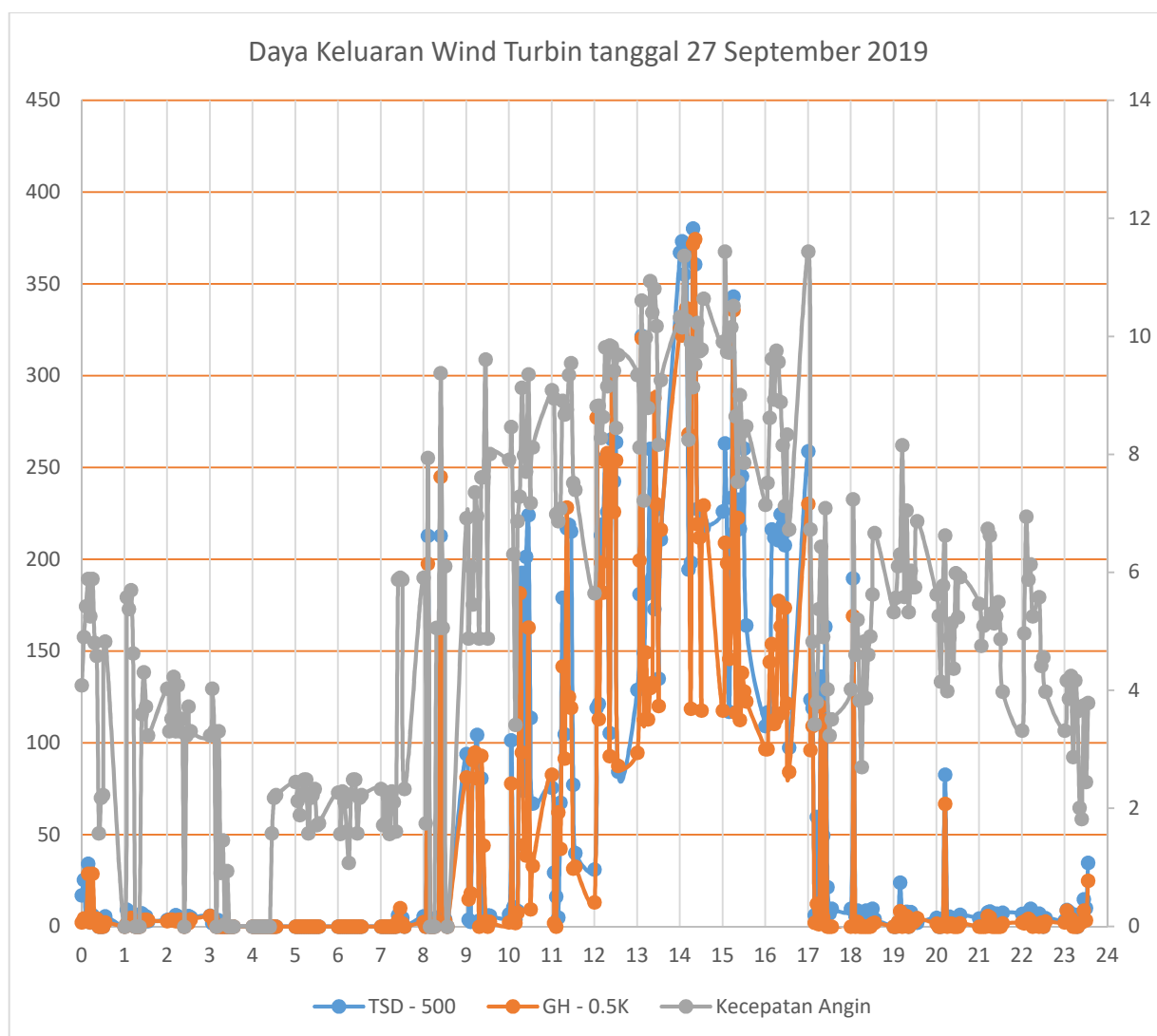
Pengukuran pada scenario 2 dilakukan saat arak angin 90° dengan konfigurasi tata letak turbin. Pada kondisi ini tidak ada pengaruh kecepatan angin yang diakibatkan oleh turbin. Hasil pengamatan sesuai prosedur pengambilan data maka data hasil monitoring yang digunakan / sesuai adalah tanggal 27 september 2019. Parameter yang diukur adalah daya keluaran setiap wind turbin dan kecepatan angin. Pengukuran dilakukan setiap 5 menit.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran yang diolah menjadi Output Tubin

Time	TSD-500	GH-0.5K	Kec Angin
..
1.45	5.43	3.64	4.31
1.50	5.61	3.73	3.73
1.55	2.85	3.36	3.24
2.00	3.64	2.85	4.03
2.05	3.73	3.64	3.31
2.10	3.36	3.73	3.52
2.15	3.83	3.36	4.23
2.20	6.19	2.85	3.31
2.25	5.49	3.64	4.09
2.30	4.72	3.73	3.31
2.35	2.71	3.36	3.52
...
...
11.15	4.88	62.25	6.87
11.20	67.49	42.29	7.08
11.25	179.14	141.7	8.91
11.30	104.8	91.43	8.68
11.35	216.95	228.22	8.76
11.40	218.83	125.17	9.35
11.45	215.28	119.22	9.55
...
...
13.30	260.2	129.92	10.94
13.35	190.23	132.75	10.41
13.40	172.98	287.94	10.81
13.45	227.33	230.13	10.18
13.50	135.01	120.13	8.17
13.55	210.88	216.12	9.26
14.00	367.17	325.71	10.33
14.05	373.42	322.08	10.16
14.10	355.28	333.2	11.37

Dari hasil pengukuran keluaran kedua PLTB dilakukan analisis bahwa energi yang dihasilkan oleh pembangkit Tipe GH-0.5K buatan cina lebih kecil 17,11 % dari Tipe TSD-500 buatan Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari lamanya pembangkit buatan cina dalam 24 jam (1440 menit) untuk menghasilkan daya hanya 550 menit sedangkan buatan Indonesia 1075 menit. Pada tanggal ini juga ditemukan bahwa kecepatan angin dibawah 3 m / dt terjadi selama 355 menit dan dibawah 6 m/dt selama

880 menit. Kecepatan rata-rata angin tanggal 27 September di Teknik Elektro adalah 5,3 m/dt, dan maksimum 11,44 m / dt. Data hasil pengukuran selengkapnya terlampir.



Gambar 4.6 Perbandingan keluaran wind turbin

Pada rentang waktu mulai dari jam 19.00 sampai 23.30 kecepatan angin rata rata 5 m/dt sehingga terlihat dalam gambar 4.5 windt turbin GH-0.5 tidak menghasilkan daya ini disebabkan karena Cutout turbin adalah 6 m/dt, sedangkan turbin TSD 500 terlihat menghasilkan daya walaupun kecil ini disebabkan Cutoutnya 3 m/detik. Ditinjau dari kecepatan angina pada sampel pengukuran ini maka turbin TSD 500 lebih optimal.

BAB V KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Keluaran pembangkit tidak optimal, hanya menghasilkan 4,2 % dari kapasitas terpasang.
2. Kecepatan angin sangat bervariasi dan sering sekali pada malam hari kecepatan nol.
3. Kecepatan angin optimal menghasilkan energi berkisar jam 8 sampai jam 17, dengan kecepatan rata-rata 5,3 meter / detik.
4. Pada kecepatan angin rata-rata 5,3 m/dt didapatkan bahwa tipe GH-0.5K. menghasilkan energy lebih sedikit 17,11 dibandingkan dengan Tipe TSD-500.
5. Konfigurasi letak pembangkit berpengaruh signifikan terhadap keluaran pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, L. H. (2015). *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Desa Ciheras Cipatujah Tasikmalaya Ditinjau dari Aspek Pembangkitan Energi*. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.
- Anonim. *Arduino Mega 2560*. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. Diakses tanggal 23 Maret 2019.
- Dale E. Beng, Jose R. Zayas, CP. Van Dam, Raymond Chow, Jonathan P. Baker, *Active Aerodynamic Load Control of Wind Turbine Blade*, (2007). Proceeding of The 5th Joint ASME / JSME Fluids Engineering Conference. San Diego
- Dinata, I., dan Sunanda, W. (2015). *Implementasi Wireless Monitoring Energi Listrik Berbasis Web Database*. Jurnal Nasional Teknik Elektro. Vol. 4, No.1.
- Essa Khaled S.M., Embaby M., Soad M. Etman, (2003). *A National Variation of The Wind Profile Power-Low Exponent as a Function of Surface Roughness and Stability*. 4th Convergence on Nuclear and Particle Physic. Egypt.
- Hartono, R. (2013). *Perancangan Sistem Data Logger Temperatur Baterai Berbasis Arduino Duemilanove. (Tugas Akhir)*. Jember : Universitas Jember.
- Marwadi, D. (2017). *Sistem Monitoring Pengukuran Data Arah dan Kecepatan Angin Menggunakan Jaringan WI-FI ESP8266. (Tugas Akhir)*. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- Parmana, I. I. W. R. I. (2016). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Beban pada Gardu Distribusi Menggunakan Short Message Service. (Skripsi)*. Jimbaran : Universitas Udayana.
- Saputra, W. R., Muid, A., dan Rismawan, T. (2016). Rancang Bangun Sistem Monitoring Gangguan pada Gardu Listrik Menggunakan Arduino dan Website. Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan. Vol. 4, No. 2:141 – 150.
- Stephen J. C. (2005). *Electric Machinery Fundamentals, 4th Edition*. BAE SYSTEMS Australia
- Sulaiman, K. O., dan Widarma, A. (2017). *Sistem internet of Things (IoT) Berbasis Cloud Computing Dalam campus Area Network*. Medan : Seminar Nasional Fakultas Teknik UISU. Vol. 2, pp. 478-486
- Sulistiawan, M. H. (2017). *Sensor Kelembaban Tanah Multi Point Nirkabel dengan Tampilan Grafik. (Tugas Akhir)*. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- Winasis, Nugraha, A.W.W., dan Rosyadi, I. (2016). *Desain Sistem Monitoring Nirkabel Berbasis Website untuk Pemantauan Baterai dan Beban Pembangkit Listrik Hibrida Surya-Angin*. Jurnal Teknik Elektro ITP. Vol. 5, No. 2.
- Yulianto, A. (2011). *Data Logger (Bagian 1)*. <http://sonoku.com/data-logger-bagian-1/> . diakses tanggal 3 November 2017.
- Aprianti, N. A., Fathona, I. W., & Budiman, M. (2010). Sistem Kontrol Otomatik Pembatasan Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler PIC18F4520, 49–57.

Anonim. *Arduino Nano 328*. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano328>. Diakses tanggal 13 Mei 2019.

Mario, Boni, P. L., & Muliadi. (1997). *Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Penggunaan Daya Listrik Pada Beban Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler ATmega328P*, VI(01), 329.

Omron Corp. *Omron G2R-12V*. <https://www.omron.com.au/products/family/1731>. Diakses tanggal 10 November 2018.

Parmana, I. I. W. R. I. (2016). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Beban pada Gardu Distribusi Menggunakan Short Message Service. (Skripsi)*. Jimbaran : Universitas Udayana.

Rashid, M. H. (2011). *“Power Electronics Handbook, Circuit Devices, and Applications”*. Jakarta : PT Prehallindo.

Saputra, W. R., Muid, A., dan Rismawan, T. (2016). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Gangguan pada Gardu Listrik Menggunakan Arduino dan Website*. Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan. Vol. 4, No. 2:141 – 150.

Sumiati, R., & Zamri, A. (2013). *Rancang Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik untuk Media Pembelajaran*. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 3, No. 2.

Lampiran hasil pengukuran

No	TIME	TSD - 500	GH - 0.5K	Kecepatan Angin
1	0.00	16.95	2.28	4.09
2	0.05	25.34	4.35	4.91
3	0.10	2.86	3.44	5.43
4	0.15	34.26	28.69	5.89
5	0.20	2.28	2.28	5.26
6	0.25	6.17	28.69	5.89
7	0.30	3.44	3.44	4.81
8	0.35	4.16	4.16	4.59
9	0.40	0	0	1.58
10	0.45	0	0	2.18
11	0.50	0	0	2.23
12	0.55	5.54	2.28	4.83
13	1.00	0	0	0
14	1.05	9.2	1.7	5.58
15	1.10	2.22	4.26	5.38
16	1.15	4.85	4.75	5.7
17	1.20	5.49	1.7	4.63
18	1.25	0	0	0
19	1.30	0	0	0
20	1.35	0	0	0
21	1.40	7.28	2.85	3.6
22	1.45	5.43	3.64	4.31
23	1.50	5.61	3.73	3.73
24	1.55	2.85	3.36	3.24
25	2.00	3.64	2.85	4.03
26	2.05	3.73	3.64	3.31
27	2.10	3.36	3.73	3.52
28	2.15	3.83	3.36	4.23
29	2.20	6.19	2.85	3.31
30	2.25	5.49	3.64	4.09
31	2.30	4.72	3.73	3.31
32	2.35	2.71	3.36	3.52
33	2.40	0	0	0
34	2.45	3.97	1.94	3.24
35	2.50	5.67	1.93	3.73
36	2.55	4.98	3.97	3.31
37	3.00	5.91	5.67	3.24
38	3.05	1.94	4.98	4.03
39	3.10	1.93	1.93	3.31
40	3.15	0	0	0
41	3.20	3.32	0	3.31

42	3.25	0	0	0.91
43	3.30	0	0	1.46
44	3.35	0	0	0.04
45	3.40	0	0	0.94
46	3.45	0	0	0
47	3.50	0	0	0
48	3.55	0	0	0
49	4.00	0	0	0
50	4.05	0	0	0
51	4.10	0	0	0
52	4.15	0	0	0
53	4.20	0	0	0
54	4.25	0	0	0
55	4.30	0	0	0
56	4.35	0	0	0
57	4.40	0	0	0
58	4.45	0	0	1.58
59	4.50	0	0	2.18
60	4.55	0	0	2.23
61	5.00	0	0	2.45
62	5.05	0	0	2.13
63	5.10	0	0	1.89
64	5.15	0	0	2.24
65	5.20	0	0	2.49
66	5.25	0	0	2.49
67	5.30	0	0	1.58
68	5.35	0	0	2.18
69	5.40	0	0	2.23
70	5.45	0	0	2.33
71	5.50	0	0	1.72
72	5.55	0	0	1.75
73	6.00	0	0	2.27
74	6.05	0	0	1.57
75	6.10	0	0	2.29
76	6.15	0	0	2.11
77	6.20	0	0	1.61
78	6.25	0	0	1.08
79	6.30	0	0	2.24
80	6.35	0	0	2.49
81	6.40	0	0	2.49
82	6.45	0	0	1.58
83	6.50	0	0	2.18
84	6.55	0	0	2.23
85	7.00	0	0	2.33
86	7.05	0	0	1.72

87	7.10	0	0	1.75
88	7.15	0	0	2.27
89	7.20	0	0	1.57
90	7.25	0	0	2.29
91	7.30	0	0	2.11
92	7.35	0	0	1.61
93	7.40	6.19	3.34	5.88
94	7.45	5.49	10.03	5.91
95	7.50	4.72	1.7	5.88
96	7.55	0	0	2.33
97	8.00	5.49	2.33	5.91
98	8.05	0	0	1.75
99	8.10	212.89	197.62	7.94
100	8.15	0	0	0
101	8.20	0	0	0
102	8.25	0	0	0
103	8.30	4.94	2.14	5.06
104	8.35	3.95	2.18	5.06
105	8.40	212.89	245.06	9.38
106	8.45	3.63	2.18	5.06
107	8.50	3.94	3.01	6.11
108	8.55	0	0	0
109	9.00	93.92	81.19	6.92
110	9.05	3.7	14.8	4.88
111	9.10	2.58	18.13	6.1
112	9.15	91.14	90.7	5.46
113	9.20	93.92	94.79	7.36
114	9.25	104.38	80.72	6.96
115	9.30	3.25	0	4.88
116	9.35	80.69	92.93	7.61
117	9.40	3.56	44.21	7.62
118	9.45	5.4	2.93	9.61
119	9.50	6.1	0	4.88
120	9.55	5.92	2.57	8.01
121	10.00	6.71	2.17	7.91
122	10.05	101.41	77.93	8.47
123	10.10	10.45	2.8	6.31
124	10.15	3.67	1.96	3.42
125	10.20	8.48	7.6	6.87
126	10.25	186.28	181.53	7.29
127	10.30	192.7	94.74	9.13
128	10.35	73.95	44.45	7.99
129	10.40	201.45	38.71	7.71
130	10.45	224.09	162.88	9.36
131	10.50	113.77	9.42	7.18

132	10.55	67	33	8.12
133	11.00	75.57	82.78	9.09
134	11.05	29.33	1.93	8.95
135	11.10	16.3	0	6.99
136	11.15	4.88	62.25	6.87
137	11.20	67.49	42.29	7.08
138	11.25	179.14	141.7	8.91
139	11.30	104.8	91.43	8.68
140	11.35	216.95	228.22	8.76
141	11.40	218.83	125.17	9.35
142	11.45	215.28	119.22	9.55
143	11.50	77.2	31.61	7.52
144	11.55	40.05	32.52	7.4
145	12.00	31.08	13.16	5.65
146	12.05	119.14	277.34	8.82
147	12.10	121.39	113.05	8.83
148	12.15	213.17	198.34	8.28
149	12.20	219.12	181.9	8.64
150	12.25	255.56	253.88	9.82
151	12.30	226.05	257.94	9.16
152	12.35	105.49	92.78	9.85
153	12.40	265.6	301.68	9.83
154	12.45	242.54	225.92	9.42
155	12.50	263.84	253.88	8.45
156	12.55	84.45	87.59	9.69
157	13.00	128.86	94.61	9.35
158	13.05	181.07	199.46	8.12
159	13.10	321.85	320.56	10.61
160	13.15	149.23	112.68	7.22
161	13.20	181.07	149.23	9.99
162	13.25	186.57	112.8	8.79
163	13.30	260.2	129.92	10.94
164	13.35	190.23	132.75	10.41
165	13.40	172.98	287.94	10.81
166	13.45	227.33	230.13	10.18
167	13.50	135.01	120.13	8.17
168	13.55	210.88	216.12	9.26
169	14.00	367.17	325.71	10.33
170	14.05	373.42	322.08	10.16
171	14.10	355.28	333.2	11.37
172	14.15	367.91	336.89	10.27
173	14.20	194.51	268.4	8.25
174	14.25	198.31	118.7	9.89
175	14.30	380.32	371.94	9.14
176	14.35	360.77	374.54	9.53

177	14.40	227.38	219.18	10.23
178	14.45	219.77	211.92	9.75
179	14.50	220.34	117.62	9.78
180	14.55	217.33	229.5	10.64
181	15.00	226.09	117.67	9.91
182	15.05	263.19	209.03	11.44
183	15.10	208.28	197.97	9.74
184	15.15	116.97	145.81	9.73
185	15.20	233.56	164.49	10.16
186	15.25	343.23	335.72	10.52
187	15.30	215.7	116.5	8.65
188	15.35	232.65	222.67	7.54
189	15.40	216.67	112.49	9.01
190	15.45	245.3	138.27	8.38
191	15.50	260.39	128.07	7.86
192	15.55	164.02	122.7	8.48
193	16.00	109.15	96.69	7.15
194	16.05	116.72	96.69	7.52
195	16.10	113.54	144.22	8.62
196	16.15	216.29	153.89	9.62
197	16.20	211.83	110.41	8.93
198	16.25	214.51	113.25	9.76
199	16.30	210.46	177.53	9.57
200	16.35	224.64	163.47	8.89
201	16.40	218.83	116.46	8.16
202	16.45	207.78	173.68	7.13
203	16.50	215.94	121.45	8.34
204	16.55	97.48	84.17	6.73
205	17.00	258.86	230.29	11.44
206	17.05	123.62	96.07	6.73
207	17.10	118.94	109.18	4.83
208	17.15	6.26	2.03	3.43
209	17.20	59.78	12.28	3.8
210	17.25	4.94	1.2	5.38
211	17.30	136.26	119.88	6.44
212	17.35	49.63	5.03	4.91
213	17.40	163.34	112.28	7.09
214	17.45	21.42	0	4.02
215	17.50	7.27	0	3.24
216	17.55	9.63	0	3.51
217	18.00	9.72	0	4.02
218	18.05	189.66	169.18	7.24
219	18.10	5.73	0	4.61
220	18.15	8.74	2.49	5.2
221	18.20	2.08	0	3.83

222	18.25	1.43	0	2.7
223	18.30	5.25	0	4.83
224	18.35	8.63	0	3.87
225	18.40	4.78	0	4.61
226	18.45	6.2	0	4.92
227	18.50	9.72	1.5	5.63
228	18.55	4.11	2.11	6.67
229	19.00	0	0	5.33
230	19.05	0	0	5.57
231	19.10	2.26	2.44	6.11
232	19.15	23.88	8.44	6.31
233	19.20	2.75	0	8.16
234	19.25	7.41	4.55	5.59
235	19.30	8.11	5.68	7.05
236	19.35	0	0	5.33
237	19.40	7.9	2.5	6.03
238	19.45	5.78	1.99	5.75
239	19.50	3.11	3.24	5.75
240	19.55	2.07	4.56	6.87
241	20.00	4.77	1.56	5.63
242	20.05	0	0	5.27
243	20.10	0	0	4.15
244	20.15	4.26	1.22	5.78
245	20.20	82.75	66.78	6.63
246	20.25	2.75	0	3.99
247	20.30	5.33	1.54	4.89
248	20.35	2.23	1.6	5.14
249	20.40	1.87	0	4.37
250	20.45	3.49	0	5.99
251	20.50	4.13	0	5.24
252	20.55	6.33	1.71	5.92
253	21.00	4.42	0	5.47
254	21.05	3.23	0	4.76
255	21.10	2.64	0	5.1
256	21.15	3.44	0	5.14
257	21.20	7.64	5.67	6.74
258	21.25	8.14	4.98	6.63
259	21.30	2.15	0	5.31
260	21.35	3.77	0	5.14
261	21.40	6.96	0	5.26
262	21.45	6.25	0	5.5
263	21.50	5.52	0	4.87
264	21.55	7.56	1.69	3.98
265	22.00	6.89	2.28	3.32
266	22.05	2.37	1.69	4.97

267	22.10	7.41	3.44	6.95
268	22.15	5.07	4.16	5.88
269	22.20	9.63	2.9	6.14
270	22.25	5.78	0	5.26
271	22.40	6.99	0	5.58
272	22.45	1.92	2.11	4.42
273	22.50	0	0	4.56
274	22.55	4.51	2.69	3.98
275	23.00	3.21	2.28	3.32
276	23.05	8.99	8.69	4.17
277	23.10	8.08	3.44	3.86
278	23.15	4.01	4.16	4.25
279	23.20	2.89	0	2.87
280	23.25	6.34	0	4.17
281	23.30	0	0	3.65
282	23.35	6.24	1.69	2.01
283	23.40	6.8	2.28	1.82
284	23.45	14.83	8.69	3.75
285	23.50	10.08	3.44	2.45
286	23.55	34.71	24.94	3.79

18,073.88 14,981.37 5.306888

BIODATA PENELITI**A. Identitas diri Ketua**

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Ir. I Wayan Sukerayasa, MT	L
2	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala	
3	Jabatan Struktural		
4	NIP/NIK/No. Identitas lainnya	196411031991031001	
5	NIDN	0003116407	
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Tabanan, 03-11-1964	
7	Alamat Rumah	Perumahan Padang Galleria I No 69, Denpasar	
8	Nomor Telepon/Faks /HP	0361731579/ - / 081558629699	
9	Alamat Kantor	Teknik Elektro, Kampus Bukit Jimbaran, Badung	
10	Nomor Telepon/Faks	0361703315	
11	Alamat e-mail	sukerayasa@unud.ac.id, sukerayasawayan@gmail.com	
12	Lulusan yang telah dihasilkan	S-1= 47 orang; S-2 = 2 Orang;	
13	Mata Kuliah yg diampu	1. Manajemen Operasi Sistem Tenaga Listrik	
		2. Riset Operasional	
		3. Elektronika dalam Sistem Tenaga	
		4. Pembangkit Tenaga Listrik	
		5. Pengantar Skripsi	
		6. Sistem Transmisi dan Distribusi	

B. Riwayat Pendidikan

Program	S1	S2
Nama Perguruan Tinggi	ITS	UGM
Tahun masuk	1984	1998
Tahun lulus	1990	2000
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Studi Pengaruh Corona Terhadap Daerah Sepanjang Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 KV Krian-Paiton	Penjadwalan Unit-Unit Hidrothermal Studi Kasus PT. PLN (Persero) Area 3
Nama Pembimbing/Promotor	Ir. R. Wahyudi	Prof. DR. Ir. Sasongko Pramono Hadi, DEA

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber (*)	Jml (juta Rp)
1	2014	Rancang Bangun PLTS menggunakan Panel PV Bekas untuk Sumber Energi Tambahan	LPPM, Unud 2014	50

2	2015	Analisa Perbandingan Unjuk Kerja Grid Connected Plts 1 Mw Yang Terpasang Di Lokasi Beriklim Kering dan Basah Di Provinsi Bali	LPPM, Unud 2015	24
3	2016	Kajian Optimalisasi Pembangkit Unit Pembangkitan Bali	PT. Indonesia Power UP Bali	260
4	2016	Pengaruh Polusi Harmonik terhadap Rugi-Rugi Energi pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	LPPM, Unud 2016	25
5	2016	Potensi Daya Listrik Pemanfaatan Atap Bangunan Kampus Universitas Udayana Untuk Pemasangan Plts Tanpa Konversi Lahan	LPPM, Unud 2016	50
6	2016	Perencanaan Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Menengah Pada Kampus Universitas Udayana Bukit Jimbaran	LPPM, Unud 2016	50
7	2017	Pengaruh Polusi Harmonik terhadap Rugi-Rugi Energi pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Primer	LPPM, Unud 2017	25
8	2017	Performa Pembangkit Listrik Photovoltaik (PLTS) dari Sistem Smart Micro Grid di Kampus Bukit Jimbaran terhadap radiasi matahari	LPPM, Unud 2017	40
9	2018	Penanggulangan Polusi Harmonik pada Sisi Pelanggan Energi Listrik Tegangan Rendah	LPPM, Unud 2018	25

D. Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber (*)	Jml (juta Rp)
1	2013	Identifikasi, Perbaikan, dan Bimbingan Teknis PLTS/ SHS di Dusun Cegi, Desa Ban, Kubu, Karangasem	Teknik Elektro	15
2	2015	Penataan Lingkungan di Pura Muncaksari Desa Sangketan, Penebel, Tabanan	Fakultas Teknik	10
3	2016	Penataan Lingkungan di Pura Segara Tawang Alun, Banyuwangi	Teknik Elektro	12
4	2017	Penataan dan Pelestarian Lingkungan di Pura Dang Khayangan Luhur Aseman, Desa Manikyang, Selemadeg, Tabanan	Teknik Elektro	20
5	2018	Pendekatan Ergonomi dan kearifan lokal dalam perencanaan teknis penataan Pura Penataran Muncaksari Penebel Tabanan	LPPM Unud	10

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
1	1 MWp grid connected PV systems in the village of Kayubih Bali; Review on location's characteristics and its technical specifications	Proceedings - 2013 International Conference on Information Technology and Electrical Engineering:	Intelligent and Green Technologies for Sustainable Development, ICITEE 2013
2	Load Flow and Suply Security Analysis of Power System in Tiga Nusa; Before and After the	Proceedings of ICSGTEIS 2014	ICSGTEIS 2014, Kuta Bali

	Application of 20KV Submarine Cable		
3	On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali	Proceedings - 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering:	Leveraging Research and Technology Through University-Industry Collaboration, ICITEE 2014
4	Studi Rugi Daya Sistem Kelistrikan Bali Akibat Perubahan Kapasitas Pembangkitan di Pesanggaran	Vol. 14 No. 2, Juli -Desember 2015	Teknologi Elektro
5	An experience in oil testing of medium voltage transformers	DOI: 10.1109/ICPADM.2015.7295445 Conference: 2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)	2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)
6	Analisis Pengaruh Interkoneksi <i>Distributed Generation</i> (Pltsa Suwung) Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Keandalan pada Penyulang Serangan	Vol. 14 No. 2, Juli -Desember 2015	Teknologi Elektro
7	Selection of Potential PV Location: A Case Study in Bali	Journal of Engineering and Applied Sciences 11(9) 1886-1890, 2016	Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN 1816-949X
8	Analisa Pengaruh Pemasangan <i>Distributed Generation</i> Terhadap Profil Tegangan Pada Penyulang Abang Karangasem	Vol. 16 No. 3, September - Desember 2016	Teknologi Elektro
9	Analisis Model Supply Pada Jaringan Sistem Kelistrikan di Fakultas Teknik Universitas Udayana Bukit Jimbaran	Vol. 16 No. 3, September - Desember 2016	Teknologi Elektro
10	Pengaruh pemindahan SUTT 150 kV Celukan Bawang kapal terhadap aliran daya sistem bali	Vol. 17 No. 1 Januari 2018	Teknologi Elektro
11	Analisis Hubung Singkat pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Penyulang Kedonganan	Vol. 17 No. 2, Mei m – Agustus 2018	Teknologi Elektro
12	Kajian dan Evaluasi Sistem Suplai Energi Listrik PLTS dan PLTB di Kampus Teknik Elektro Universitas Udayana Bukit Jimbaran Bali	Vol. 17 No. 3, September - Desember 2018	Teknologi Elektro
13	Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap Rugi-Rugi Daya pada Sistem Tegangan Rendah dan Transformator GR88 di Penyulang MEnjanmngan	Vol. 5 No. 2 Desember 2018	Spektrum
14	Analisa Keandalan dan Susut Daya Penyulang Tabanan Setelah Rekonfigurasi	Vol. 5 No. 2 Desember 2018	Spektrum
15	Optimasi titik interkoneksi DG PLT Muara guna meminimalkan rugi-rugi daya menggunakan metode artifisial bee colony pada penyulang panji	Vol. 5 No. 2 Desember 2018	Spektrum

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat ipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risiko.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan proposal: **Hibau Unggulan Program Studi**

Denpasar, 11 Pebruari 2019

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'I Wayan Sukerayasa', with a stylized flourish underneath.

(Ir. I Wayan Sukerayasa, MT)

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya:

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. Nama Lengkap | : Ir. I Wayan Sukerayasa, MT |
| NIDN | : 0003116407 |
| Fakultas / Pogram studi | : Teknik Elektro |
| Status dalam Pengabdian | : Ketua |
| 2. Nama Lengkap | : Prof. Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, MEngSc, PhD |
| NIDN | : 0013126509 |
| Fakultas / Pogram studi | : Teknik Elektro |
| Status dalam Pengabdian | : Anggota |

Menyatakan bahwa kami secara bersama-sama telah menyusun proposal penelitian yang berjudul “Analisis Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Pada Pilot Project Smart Grid Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana” dengan jumlah usulan dana sebesar Rp. 25.000.000,-. Apabila proposal ini disetujui maka kami secara bersama-sama akan bertanggungjawab terhadap pelaksanaan pengabdian ini sampai tuntas sesuai dengan persyaratan yang dituangkan dalam surat kontrak Perjanjian. Demikian Surat Pernyataan ini kami buat dan ditandatangani bersama sehingga dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bukit Jimbaran, 11 Pebruari 2019

Pengusul



(Prof. Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, MEngSc, PhD)



Ir. I Wayan Sukerayasa, MT