

LAPORAN AKHIR TAHUN

PROGRAM INSINAS RISET PRATAMA INDIVIDU



**Pengembangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dengan
Memanfaatkan Energi Ombak, Angin dan Matahari di Pesisir Pantai selatan
Jawa Timur dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids**

TIM PENGUSUL

**Aris Ansori, S.Pd., MT.
Prof. Dr. Ir. Wayan Susila, MT.
Subuh Isnur Haryudo, ST., MT.
Indra Herlamba Siregar, ST., MT.**

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
November, 2018**

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR TAHUN
PROGRAM INSINAS RISET PRATAMA**

Judul Penelitian : Pengembangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dengan Memanfaatkan Energi Ombak, Angin dan Matahari di Pesisir Pantai selatan Jawa Timur dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids

Bidang Program Insinas : Riset Pratama Individu

Peneliti Utama/Ketua peneliti

a. Nama Lengkap : Aris Ansori, S.Pd., MT.

b. Alamat surel (e-mail) : arisansori@unesa.ac.id

c. Nomer HP : 081334102045

Lembaga Pengusul

a. Nama Lembaga : LPPM Universitas Negeri Surabaya

b. Nama Pimpinan Lembaga : Prof.Dr. Lies Amin Lestari, M.A.,M.Pd.

c. Alamat : Gedung Rektorat Lt. 6 Kampus Unesa Lidah Wetan, Jl. Lidah Wetan Surabaya

d. Alamat surel : lppm@unesa.ac.id

e. Telp : 031-8296260

Lama Penelitian Keseluruhan : 3 Tahun

Pelaksanaan Tahun Ke- : 2 (kedua)

Biaya Penelitian Keseluruhan : RP. 461.900.000,-

Mengetahui,
Ketua LPPM Unesa



(Prof.Dr.Lies Amin Lestari, M.A.,M.Pd.)
NIP. 196101121988032004

Surabaya, 25 November 2018
KetuaPeneliti

(Aris Ansori, S.Pd., MT.)
NIP. 197803302008121002

RINGKASAN

Permasalahan yang di hadapi masyarakat pesisir pantai selatan Jawa Timur (Bayuwangi, Jember, Lumajang, Malang, Blitar, Tulungagung, Trenggalek dan Pacitan) adalah tidak adanya energi listrik dari PLN, sehingga masyarakat rata-rata masih menggunakan genset untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari. Potensi energi terbarukan yang besar di pesisir pantai selatan Jawa Timur (energi ombak, angin dan matahari) belum dimanfaatkan dengan baik sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pesisir pantai selatan Jawa Timur umumnya berpantai terjal dan berhadapan langsung dengan Samudra Indonesia, hal ini sangat potensial energi ombak di pantai selatan Jawa Timur sekitar 1,5 hingga 3 meter yang dapat dikonversi menjadi energi listrik, potensi kecepatan angin sebesar 2-5 m/s dapat digunakan untuk menggerakkan turbin angin dan dikonversi menjadi energi listrik, potensi intensitas matahari yang cukup besar yang dapat dikonversi menjadi listrik dengan panel surya. Kemandirian masyarakat pesisir pantai Jawa Timur dalam penyediaan energi listrik diperlukan dengan pemanfaatan potensi energi terbarukan di pesisir pantai, seperti; energi ombak, energi angin dan energi matahari untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sehari-hari. Solusi permasalahan yang dihadapi masyarakat pesisir dengan pemanfaatan teknologi pembangkit listrik hibrid energi terbarukan (energi gelombang/ombak laut, energi angin dan energi matahari) dengan model On-Grids, dengan teknologi ini pemanfaatan konversi energi terbarukan (energi gelombang/ombak laut, energi angin dan energi matahari menjadi energi listrik lebih optimal dikarenakan pemanfaatan energi satu dengan yang lainnya terkoneksi dan saling mendukung. Penelitian ini bertujuan mendesai wind turbin darius tipe H yang akan digunakan untuk mensuplai pembangkit listrik hibrid energi gelombang.

Model wind turbin vertikal Darius tipe H mempunyai torsi yang sangat besar jika sudah berputan, dengan kecepatan angin memiliki rentang kecepatan 2 - 6 m/s di pesisir pantai dapat memutar turbin angin dengan stabilitas yang baik. Wind turbin dengan kapasitas 300 watt, 500 watt dengan blad berjumlah 4 buah dan 6 buah dengan sudut kemiringan blad 10^0 dan 20^0 dapat menghasilkan energi listrik rata2 800 Wh. Awal start putaran wind turbin dengan kecepatan angin 2,5 m/s dengan jumlah blad yang optimum 6 blad dengan sudut kemiringan 20^0 .

Kata kunci : Pembangkit Listrik, Energi angin, Pesisir Pantai, Teknologi Hybrid

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Allah S.W.T. atas limpahan Rahmat, Taufiq dan Hidayah-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan tahapan penelitian dalam rangka kegiatan penelitian Insinas Pratama Individu tahun ke pertama dengan judul **“Pengembangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dengan Memanfaatkan Energi Ombak, Angin dan Matahari di Pesisir Pantai selatan Jawa Timur dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids”**

Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan energy terbarukan di pesisir di Pesisir pantai selatan Jawa Timur, seperti energi gelombang, energi angin dan energi matahari yang digunakan sebagai sumber pembangkit energi listrik. Penelitian tahun ke dua ini mengembangkan turbin angin darrieus untuk mengkonversi energi angin dipesisir pantai menjadi energi listrik.

Peneliti pada kesempatan tidak lupa mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian Insinas Pratama Individu baik dalam bentuk pendanaan penelitian, masukkan dan penyediaan prasarana penelitian, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Lies Amin Lestari, MA., M.Pd. Selaku Ketua LPPM Universitas Negeri Surabaya.
2. Kemenristekdikti yang telah mendukung penelitian ini dari segi pendanaan penelitian.

Peneliti menyadari sepenuhnya masih banyak kekurangan dalam laporan akhir penelitian ini, sehingga saran dan masukan yang bersifat membangun kami harapkan demi kesempurnaan laporan akhir penelitian selanjutnya. Semoga laporan kemajuan ini dapat menjadi modal peneliti untuk menyelesaikan laporan akhir nantinya.

Surabaya, November 2018

Penulis

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teknologi pembangkit listrik hybrid	4
1.2.1 Teknologi pemanfaatan energi gelombang laut	4
1.2.2 Teknologi Pemanfaatan Energi Angin Dipesisir Pantai.....	14
1.2.3 Teknologi Pemanfaatan Energi Matahari Dipesisir Pantai	29
1.2.4 Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid Energi Terbarukan	35

BAB 2. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

2.1 Tujuan Penelitian	38
2.2 Manfaat Penelitian	38

BAB 3. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Pendekatan Masalah.....	40
2.2 Metode Penelitian.....	40
2.3 Tahapan Penelitian.....	41
2.4 Instrumen Penelitian.....	43
2.5 Teknik Pengumpulan Data	43
2.6 Teknik Analisis Data.....	44

BAB 4. HASIL LUARAN YANG TELAH DICAPAI

4.1 Hasil Penelitian	45
4.1 Produk Hasil Penelitian	54

BAB 5. RENCANA TAHAP BERIKUTNYA

5.1 Rencana Tahapan Kegiatan Selanjutnya	55
--	----

BAB 6. SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan	57
6.2 Saran	58

REFERENSI

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 6.1 Potensi dan hasil konversi	56
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta potensi pesisir pantai selatan Tawa Timur	1
Gambar 1.2 Potensi energi gelombang ombak yang besar 1,5 – 3 m, angin rata-rata 4-5 m/s	2
Gambar 1.3 Potensi energi matahari di indonesia dapat dimanfaatkan di pesisir pantai Jawa Timur	3
Gambar 1.4. Pemanfaatan sumber energi gelombang laut/ombak.....	5
Gambar 1.5 Prototype PLTO-SO.....	6
Gambar 1.6 Skematis sistem pendulum	6
Gambar 1.7 Sistem pendulum dengan single sudut	7
Gambar 1.8 Pemanfaatan sumber energi gelombang laut (ombak)	7
Gambar 1.9 Sumber energi pasang surut air laut	8
Gambar 1.10 Pemanfaatan dam Pasang Surut (<i>Tidal Barrages</i>)	9
Gambar 1.11 Pemanfaatan turbin lepas pantai.....	10
Gambar 1.12 Pemanfaatan <i>ocean themal energy conversion</i> (OTEC)	11
Gambar 1.13 Instalasi <i>ocean themal energy conversion</i> (OTEC).....	11
Gambar 1.14 Sistem PLTB kecepatan konstan	14
Gambar 1.15 Sistem PLTB kecepatan berubah (rotor belitan)	15
Gambar 1.16 Sistem PLTB kecepatan berubah	15
Gambar 1.17 Sistem PLTB kecepatan berubah (rotor sangkar)	16
Gambar 1.18 Sistem PLTB kecepatan berubah	16
Gambar 1.19 Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara	17
Gambar 1.20 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu	18
Gambar 1.21. Turbin angin jenis <i>upwind</i>	18
Gambar 1.22 Turbin angin jenis <i>downwind</i>	19
Gambar 1.23 Turbin angin Darrieus	20
Gambar 1.24 Turbin angin Darrieus tipe-H	21
Gambar 1.25. Prinsip rotor savonius.....	21
Gambar 1.26 Turbin angin savonius	22
Gambar 1.27 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal	23
Gambar 1.28 Sistem kelistrikan pembangkit listrik turbin angina.....	25
Gambar 1.29 Sistem kelistrikan lepas jaringan.....	26
Gambar 1.30 Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai	27
Gambar 1.31 Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai	27
Gambar 1.32 Modul sel <i>solar cell</i> biasanya terdiri dari 28-36 sel	30
Gambar 1.33 Karakteristik kurva I-V pada sel <i>solar cell</i>	31
Gambar 1.34 Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan temperatur.....	31
Gambar 1.35 Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan iradiasi	32
Gambar 1.36 Skema ekivalen sebuah sel <i>solar cell</i>	32
Gambar 1.37 Faktor bentuk FF sebagai fungsi z_o	34
Gambar 1.38 Model pembangkit listrik hibrid	35
Gambar 1.38 Model pembangkit listrik hibrid	36
Gambar 1.40 Konsep arsitektur setiap pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah.....	36

Gambar 1.41 Konsep arsitektur sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).....	36
Gambar 3.1 Flow chart rancangan penelitian	41
Gambar 3.2 Instrumen Penelitian.....	43
Gambar 4.1 Kecepatan angin di pesisir pantai tamban kabupaten malang	47
Gambar 4.2 Desain turbin angin NACA Darrieus Airfoil	51
Gambar 4.3 Energi listrik turbin angin darrieus NACA airfoil 6 blade dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0	52
Gambar 4.4 Energi listrik turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0	53
Gambar 4.5 Produk hasil Penelitian	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Makalah seminar International	61
Lampiran 2. Draf Jurnal Publikasi International	70
Lampiran 3. Catatan Harian Kegiatan Penelitian	78
Lampiran 4. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja	92
Lampiran 5. Draf HAKI Paten Sederhana	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Propinsi Jawa Timur memiliki tidak kurang dari 79 pulau-pulau kecil yang terpusat di wilayah Madura Kepulauan. Jumlah tersebut merupakan 0,44% jumlah pulau di Indonesia yang mencapai 17.000 buah. Selain itu propinsi Jawa Timur yang jumlah pantai yang cukup banyak yang berhadapan dengan laut jawa (pesisir pantai utara) dan berhadapan langsung dengan samudera Indonesia (pesisir pantai selatan), seperti pantai di sepanjang daerah Pacitan, Tulungagung, Trenggalek, Malang, Lumajang, Jember dan Bayuwangi. Jika dilihat dari kondisi geologi propinsi jawa timur memiliki garis pantai yang panjang yang dapat dikembangkan secara optimal, salah satunya potensi sumber energi alternatif yang sangat besar, yaitu energi gelombang/ombak, energi angin dan energi matahari.



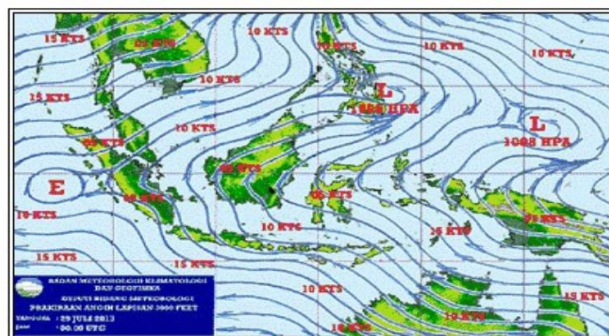
Gambar 1.1 Peta potensi pesisir pantai selatan jawa timur

Permasalahan pertama, keterbatasan potensi dan pasokan/ suplai energi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Propinsi Jawa Timur, terutama penyediaan energi listrik untuk masyarakat di daerah pesisir pantai dan masyarakat yang tinggal di daerah yang belum terkoneksi jaringan listrik PLN. Berdasarkan data Isu energi dan sumber daya mineral nasional adalah ketahanan energi, diversifikasi energi, konservasi energi, subsidi energi, energi untuk daerah perbatasan dan tertinggal, dengan rasio elektrifikasi nasional tahun 2012 adalah sebesar 76,56%, yang berarti bahwa masih terdapat sekitar 23,44% belum terpenuhi.

Sedangkan ratio ketersediaan energi listrik Jawa Timur sebesar 70,53 persen.. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan gaya hidup, maka kebutuhan energi juga akan meningkat. (Sumber:RPJMD 2014-2019 Propinsi Jawa Timur).

Kondisi tersebut menyebabkan beberapa wilayah di pesisir pantai selatan Jawa Timur banyak belum mendapatkan aliran energi listrik. Pemenuhan energi listrik untuk aktivitas sehari-hari masyarakat pesisir pantai selatan Jawa Timur menggunakan genzet baik pada siang hari maupun malam hari, hal ini memerlukan biaya yang sangat besar baik untuk pembelian bahan bakar dan perawatan genzet, selain itu juga menghambat pertumbuhan sektor ekonomi.

Permasalahan kedua, Potensi energi terbarukan dipesisir pantai selatan Jawa Timur belum dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat dipesisir pantai. Potensi energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik adalah; 1). Potensi energi gelombang laut/ombak dengan tinggi ombak di pantai selatan Jawa Timur sekitar 1,5 hingga 2 meter yang dapat dikonversi menjadi energi listrik, 2). Potensi kecepatan angin sebesar 2-5 m/s (siang hari) dan 8-5 m/s (sore-malam hari) dapat digunakan untuk menggerakkan turbin angin dan dikonversi menjadi energi listrik dan 3). Potensi energi matahari yang cukup besar yang dapat dikonversi menjadi listrik dengan panel surya sebesar 4.8 Kwh/m².



Gambar 1.2. Potensi energi gelombang ombak yang besar 1,5 – 3 m, angin rata-rata 4-5 m/s



Gambar 1.3. Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan di pesisir pantai Jawa Timur

Permasalahan ketiga, Teknologi pemanfaatan potensi energi terbarukan di pesisir pantai selatan Jawa Timur masih, yaitu energi gelombang laut/ombak, energi angin dan energi matahari belum ada, sehingga diperlukan pengembangan teknologi untuk menggabungkan sistem konversi energi terbarukan (energi gelombang laut/ombak, energi angin dan energi matahari) menjadi energi listrik.

Solusi untuk mengatasi permasalahan terkait kebutuhan energi listrik di pesisir pantai selatan adalah diperlukan penelitian pengembangan untuk pembangkit listrik hibrid yang memanfaatkan energi terbarukan energi gelombang laut/ombak, energi angin dan energi matahari dengan sistem On-grid. Pengembangan penelitian ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat.

Sedangkan hasil kegiatan riset tentang **Teknologi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dengan Memanfaatkan Energi Ombak, Angin dan Matahari di Pesisir Pantai selatan Jawa Timur dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids** dapat mendukung sistem inovasi nasional, hal ini dikarenakan teknologi hibrid dengan teknologi konversi energi terbarukan energi gelombang laut/ombak dengan sistem bandul/pendulum, energi angin dengan turbin angin tipe vertikal model NACA dan energi matahari dengan panel surya menjadi energi listrik dapat digunakan/diaplikasi secara nasional dalam usaha memperkuat ketahanan energi listrik di daerah. Potensi energi energi gelombang laut/ombak, energi angin dan energi matahari tersebar di seluruh wilayah Indonesia yang banyak belum dimanfaatkan potensi energi terbarukan tersebut.

Hasil pengembangan teknologi pembangkit listrik hibrid energi terbarukan energi gelombang laut/ombak, energi angin dan energi matahari dapat mewujudkan kemandirian energi listrik di daerah pesisir pantai dan menghasilkan inovasi baru dalam membuat sistem pembangkit listrik dari energi terbarukan.

1.2 Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid

Teknologi pembangkit listrik hybrid energi terbarukan di pesisir pantai dapat memanfaatkan energi gelombang laut, energi matahari dan energi angin. Ketiga sumber energi tersebut dapat dikombinasikan menjadi model hybrid yang saling menunjang kebutuhan energi pada sistem pembangkit hybrid.

1.2.1 Teknologi pemanfaatan energi gelombang laut.

Laut memiliki potensi sumber energi yang cukup besar dengan pemanfaatan bentuk energi laut dalam bentuk energi kinetik untuk memutar turbin yang selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Energi yang berasal dari laut (*ocean energy*) dapat dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu sebagai berikut:

1. Energi Gelombang Laut/Ombak (*Wave Energy*)

Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya. Gelombang laut/ombak dihasilkan oleh angin yang bertiup di permukaan laut. Ombak merupakan sumber energi yang cukup besar, pemanfaatan energi ombak dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Pada sebuah pembangkit listrik bertenaga ombak (PLTO), aliran masuk dan keluarnya ombak ke dalam ruangan khusus menyebabkan terdorongnya udara keluar dan masuk melalui sebuah saluran di atas ruang tersebut. Jika di ujung saluran diletakkan sebuah turbin, maka aliran udara yang keluar masuk tersebut akan memutar turbin yang menggerakkan generator.

Kelebihan pembangkit listrik berenergi ombak yaitu: energi bisa diperoleh secara gratis, tidak butuh bahan bakar, tidak menghasilkan limbah, mudah dioperasikan, biaya perawatan rendah, dan dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang memadai. Sedangkan kekurangannya yaitu: bergantung pada ombak,

perlu menemukan lokasi yang sesuai dimana ombaknya kuat dan muncul secara konsisten.

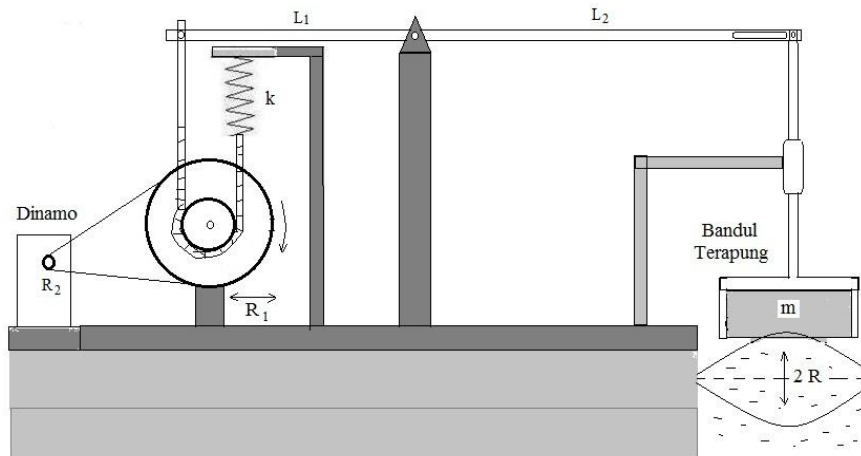


Gambar 1.4. Pemanfaatan sumber energi gelombang laut/ombak

Teori yang mendukung untuk pengembang riset pembangkit listrik hibrid energi terbarukan adalah referensi tentang pemanfaatan energi gelombang laut dengan sistem bandul/pendulum, referensi energi angin dan referensi konversi energi matahari.

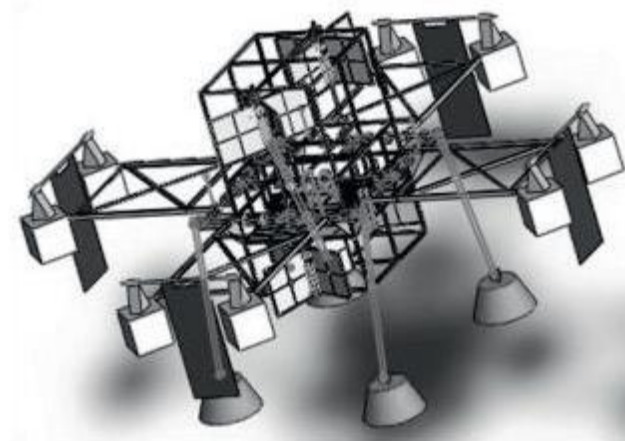
Menurut Tri Alfansuri, Efrita Arfa Zuliari (2014) Kajian potensi tenaga gelombang laut Sebagai pembangkit tenaga listrik Di perairan Malang selatan, Pantai pesisir Selatan Malang adalah kawasan yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan energi gelombang lautnya sebagai Pembangkit Tenaga Listrik (PTL) karena memiliki Karakteristik ketinggian gelombang laut antara 1 – 3 m dan konstan diketahui bahwa dengan ketinggian gelombang antara 0,70 – 3,25 m mampu menghasilkan daya sebesar 94.115 – 5.261.198,29 Watt.

Sedangkan menurut Soebyanto, (2012) Prototype pembangkit listrik tenaga ombak Sistem osilator, Pembangkit listrik tenaga ombak metode gerak harmonik. Prinsip metode ini dengan memanfaatkan gerak osilasi benda yang mempunyai massa jenis lebih kecil dibandingkan massa jenis air laut, diletakkan di atas ombak. Osilasi ombak akan menggerakkan lengan momen naik-turun dan dilanjutkan menggerakkan dinamo, penghasil listrik, dengan gambar seperti gambar 4.



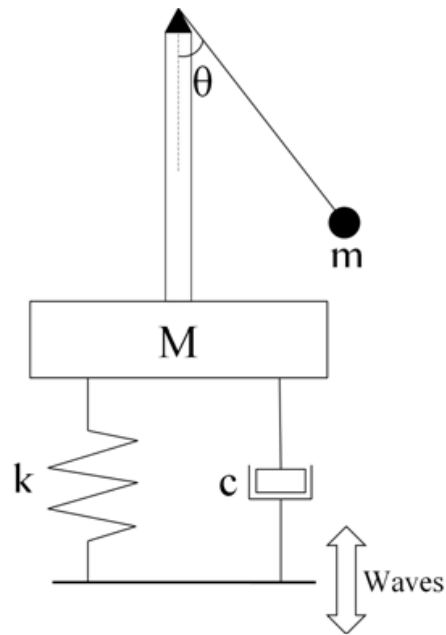
Gambar 1.5 Prototype PLTO-SO

Menurut HE Hongzhou, LI Hui, (2014) Numerical simulation of the pendulum system in a buoy pendulum wave energy converter, menyatakan sudut kemiringan lengan pendulum yang efektif 45° dengan jarak antara pendulum 0,6 m. Seperti gambar 5.

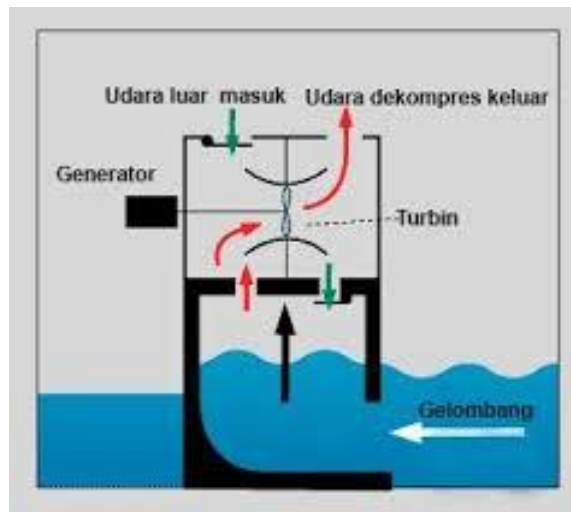


Gambar 1.6 Skematis sistem pendulum

Sedangkan menurut Daniil Yurchenko dan Panagiotis Alevras, (2012), Stochastic dynamics of a parametrically base excited rotating Pendulum menyatakan untuk mengurangi kerugian yang disebabkan gerak pendulum (gerak rotasi, gerak lurus dan getaran) dapat digunakan dengan sudut yang sama masing-masing pendulum.



Gambar 1.7 Sistem pendulum dengan single sudut.



Gambar 1.8 Pemanfaatan sumber energi gelombang laut (ombak)

2. Energi Pasang Surut (*Tidal Energy*)

Energi pasang surut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan air laut akibat perbedaan pasang surut. Energi pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang cukup besar. Sedangkan intensitas pasang surut air laut dalam satu hari bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut, sehingga waktu siklus

bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali), suplai listriknya pun relatif lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak.



Gambar 1.9 Sumber energi pasang surut air laut

Keuntungan:

1. Setelah dibangun, energi pasang surut dapat diperoleh secara gratis.
2. Tidak menghasilkan gas rumah kaca ataupun limbah lainnya.
3. Tidak membutuhkan bahan bakar.
4. Biaya operasi rendah.
5. Produksi listrik stabil.
6. Pasang surut air laut dapat diprediksi.
7. Turbin lepas pantai memiliki biaya instalasi rendah dan tidak menimbulkan dampak lingkungan yang besar.

Kerugian:

1. Sebuah dam yang menutupi muara sungai memiliki biaya pembangunan yang sangat mahal, dan meliputi area yang sangat luas sehingga merubah ekosistem lingkungan baik ke arah hulu maupun hilir hingga berkilo-kilometer.
2. Suplai energi kurang lebih 10 jam setiap harinya, ketika ombak bergerak masuk ataupun keluar.

Pada dasarnya ada dua metodologi untuk memanfaatkan energi pasang surut, yaitu sebagai berikut: Dam Pasang Surut (*Tidal Barrages*), Turbin Lepas Pantai (*Offshore Turbines*).

3. Dam Pasang Surut (*Tidal Barrages*)

Sistem dam pasang surut ini hampir mirip dengan sistem pembangkitan listrik secara hidro-elektrik yang terdapat di dam/waduk penampungan air sungai. Perbedaan terletak hanya sumber tenaga pemanfaatan air, secara konstruksi dam

untuk memanfaatkan siklus pasang surut jauh lebih besar daripada dam air sungai. Letak pembangunan dam dibangun di muara sungai dimana terjadi pertemuan antara air sungai dengan air laut. Ketika ombak masuk atau keluar (terjadi pasang atau surut), air mengalir melalui terowongan yang terdapat di dam. Aliran masuk atau keluarnya ombak dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin. Kekurangan terbesar dari pembangkit listrik tenaga pasang surut adalah dapat menghasilkan listrik selama ombak mengalir masuk (pasang) ataupun mengalir keluar (surut) yang terjadi selama kurang lebih 10 jam per harinya.



Gambar 1.10 Pemanfaatan dam Pasang Surut (*Tidal Barrages*)

Pemanfaatan energi pasang surut dapat menggunakan turbin lepas pantai yang lebih menyerupai pembangkit listrik tenaga angin versi bawah laut. Keunggulannya dibandingkan metode pertama yaitu: lebih murah biaya instalasinya, dampak lingkungan yang relatif lebih kecil daripada pembangunan dam, dan persyaratan lokasinya pun lebih mudah sehingga dapat dipasang di lebih banyak tempat.

Kelebihan pemanfaatan energi pasang surut untuk pembangkit listrik, yaitu; energi pasang surut dapat diperoleh secara gratis, tidak menghasilkan gas rumah kaca ataupun limbah lainnya, tidak membutuhkan bahan bakar, biaya operasi rendah, produksi listrik stabil, pasang surut air laut dapat diprediksi, turbin lepas pantai memiliki biaya instalasi rendah dan tidak menimbulkan dampak lingkungan yang besar.

Sedangkan kekurangannya adalah sebuah dam yang menutupi muara sungai memiliki biaya pembangunan yang sangat mahal, dan meliputi area yang sangat

luas sehingga merubah ekosistem lingkungan baik ke arah hulu maupun hilir hingga berkilo-kilometer dan hanya dapat mensuplai energi kurang lebih 10 jam setiap harinya (ketika ombak bergerak masuk ataupun keluar).



Gambar 1.11 Pemanfaatan turbin lepas pantai

4. Energi Panas Laut (*Ocean Thermal Energy*)

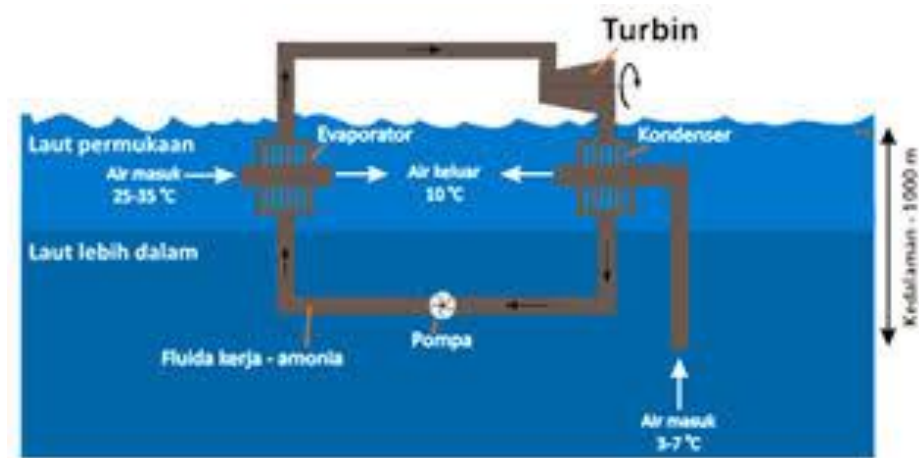
Energi panas laut memanfaatkan perbedaan temperatur air laut di permukaan dan di kedalaman. Temperatur di permukaan laut lebih hangat karena panas dari sinar matahari diserap sebagian oleh permukaan laut, sedangkan temperatur dibawah permukaan, temperatur akan turun dengan cukup drastis. Perbedaan temperatur tersebut dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. Pemanfaatan sumber energi jenis ini disebut dengan konversi energi panas laut (*Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC). Perbedaan temperatur antara permukaan yang hangat dengan air laut dalam yang dingin dibutuhkan minimal sebesar 25 °C agar dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik dengan baik.

Kelebihan dari OTEC yaitu: tidak menghasilkan gas rumah kaca ataupun limbah lainnya, tidak membutuhkan bahan bakar, biaya operasi rendah, produksi listrik stabil, dapat dikombinasikan dengan fungsi lainnya: menghasilkan air pendingin, produksi air minum, suplai air untuk *aquaculture*, ekstraksi mineral, dan produksi hidrogen secara elektrolisis.

Sedangkan kekurangannya yaitu: belum ada analisa mengenai dampaknya terhadap lingkungan, jika menggunakan amonia sebagai bahan yang diuapkan menimbulkan potensi bahaya kebocoran, dan biaya pembangunan tidak murah.



Gambar 1.12 Pemanfaatan *ocean themal energy conversion* (OTEC)



Gambar 1.13 Instalasi *ocean themal energy conversion* (OTEC)

5. Perhitungan Potensi energi gelombang laut/ombak menjadi energi listrik

Besarnya Kapasitas daya untuk pembangkit listrik gelombang laut belum dapat ditentukan dengan pasti. Tetapi perhitungan untuk ke arah itu dapat didekati dengan cara menghitung periode gelombang yang kemudian dapat diperkirakan energi yang timbul. Perhitungan untuk periode gelombang adalah sebagai berikut;

Panjang dan kecepatan gelombang laut diperlukan oleh periode datangnya gelombang. Periode datangnya gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disarankan oleh Kim Nielsen, yaitu;

$$T = 3,55 \times \sqrt{H}$$

dengan :

T = periode datang gelombang (sec)

H = ketinggian gelombang (m)

Prakiraan periode datangnya gelombang pada daerah pesisir pantai Jawa Timur, maka dapat dihitung panjang dan kecepatan gelombang berdasarkan persamaan yang disarankan oleh David Ross, yaitu :

$$\lambda = 5,12 T^2$$

dengan :

λ = panjang gelombang (m)

Maka kecepatan gelombang datang dapat diperoleh dengan rumus :

$$V = \frac{\lambda}{T} \text{ dengan : } V = \text{kecepatan gelombang (m/sec)}$$

Besarnya energi potensial dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P.E = m.g.\frac{\gamma}{2}$$

dengan :

m = massa gelombang (kg)

g = gravitasi bumi (m/sec)

γ = persamaan gelombang sinusoida (m)

Adapun untuk menghitung massa gelombang menggunakan persamaan :

$$m = w.p.\gamma$$

dengan :

w = lebar gelombang (m)

ρ = massa jenis air laut (kg/m³)

γ = gelombang sinusoida (m)

Selain itu juga digunakan persamaan gelombang sinusoida yang digambarkan mirip dengan gelombang laut :

$$\gamma = y(x, t) = a \sin(kx - \omega t)$$

dengan :

a = amplitudo gelombang (m)

k = konstanta gelombang

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

t = waktu gelombang (sec)

Menghitung amplitudo gelombang dengan persamaan :

$$a = \frac{h}{2}$$

dengan :

h = ketinggian gelombang (m)

Adapun untuk menghitung konstanta gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ dengan :}$$

k = konstanta gelombang

λ = panjang gelombang (m)

Adapun untuk menghitung frekuensi gelombang menggunakan persamaan :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

dengan :

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

T = periode gelombang (sec)

Perhitungan energi potensial gelombang dengan persamaan:

$$PE = \frac{1}{4} w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \text{ (joule)}$$

Perhitungan energi kinetik gelombang dengan persamaan:

$$KE = \frac{1}{4} w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \text{ (joule)}$$

Setelah besarnya energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat dihitung total energi yang dihasilkan selama lebih dari satu periode yaitu dicari dengan persamaan :

$$E_w = P.E + K.E = w g a^2 \lambda \text{ (joule)}$$

Untuk menentukan besarnya daya listrik yang dihasilkan gelombang laut, digunakan persamaan berikut ini :

$$P_w = \frac{E_w}{T} \text{ (Watt)}$$

Sedangkan daya yang dapat ditransfer dari energi gelombang dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2 \cong 0.5 T_e H_s^2 \text{ KW/M}$$

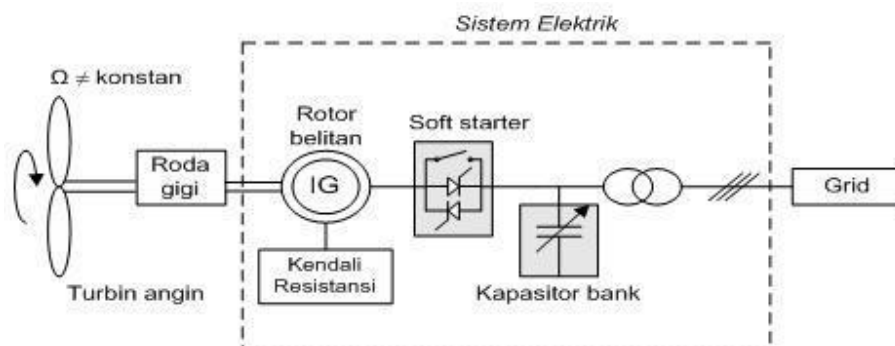
1.2.2 Teknologi Pemanfaatan Energi Angin Dipesisir Pantai

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin (turbin) disebut *windmill*. Sedangkan jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka mesin disebut turbin angin atau *wind energy converter* (WEC).

1. Prinsip Turbin Angin

Sistem ini pembangkit listrik tenaga angin beroperasi pada kecepatan putar turbin yang konstan dan menghasilkan daya maksimum pada satu nilai kecepatan angin. Sistem ini biasanya menggunakan generator tak-serempak dan cocok diterapkan pada daerah yang memiliki potensi kecepatan angin yang besar.

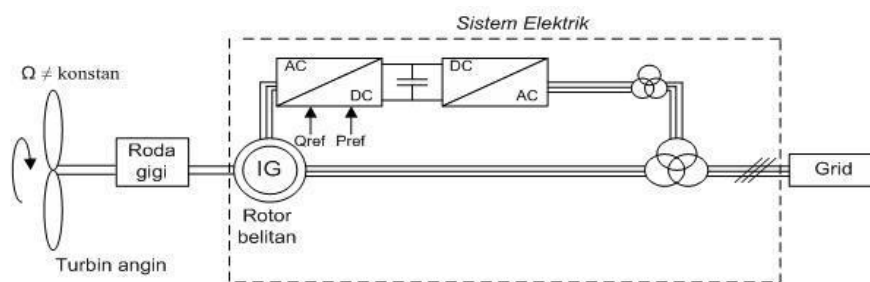
Kelemahan dari sistem ini adalah generator memerlukan daya reaktif untuk bisa menghasilkan listrik sehingga harus dipasang kapasitor bank atau dihubungkan dengan grid. Sistem ini rentan terhadap *pulsating power* menuju grid dan rentan terhadap perubahan mekanis secara tiba-tiba. Selain kecepatan konstan, ada juga sistem turbin angin yang menggunakan sistem kecepatan berubah, artinya sistem didesain agar dapat mengekstrak daya maksimum pada berbagai macam kecepatan. Sistem *variable speed* dapat menghilangkan *pulsating torque* yang umumnya timbul pada sistem *fixed speed*.



Gambar 1.14 Sistem PLTB kecepatan konstan

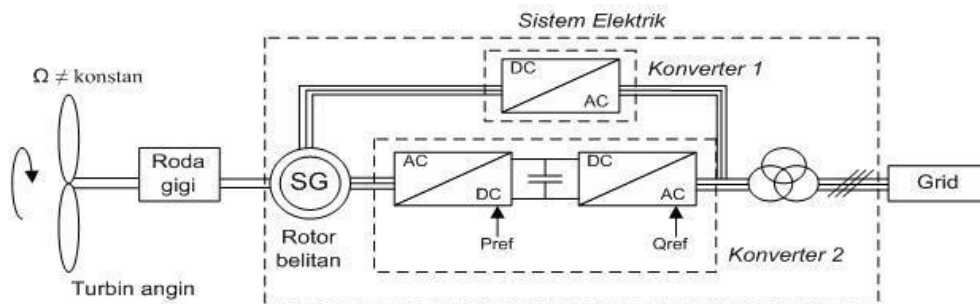
Secara umum sistem *variable speed* mengaplikasikan elektronika daya untuk mengkondisikan daya, seperti penyearah, Konverter DC-DC, dan inverter

terlihat pada gambar 14 dan gambar 15. Pada sistem variable speed (b) menggunakan generator induksi rotor belitan. Karakteristik kerja generator induksi diatur dengan mengubah-ubah nilai resistansi rotor, sehingga torsi maksimum selalu didapatkan pada kecepatan putar turbin berapa pun. Sistem ini lebih aman terhadap perubahan beban mekanis secara tiba-tiba, terjadi reduksi pulsating power menuju grid dan memungkinkan memperoleh daya maksimum pada beberapa kecepatan angin yang berbeda. Sayangnya jangkauan kecepatan yang bisa dikendalikan masih terbatas.



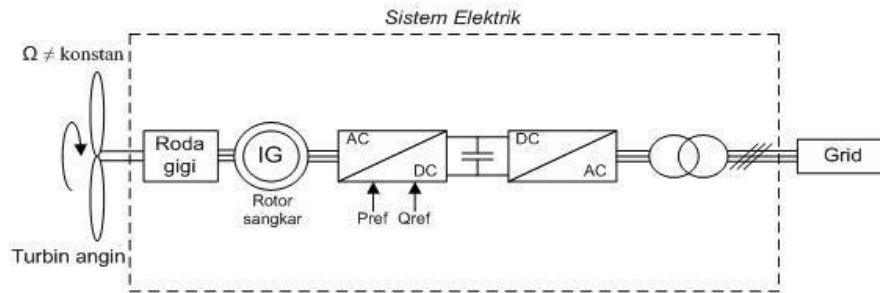
Gambar 1.15 Sistem PLTB kecepatan berubah (rotor belitan)

Pada sistem **VARIABLE SPEED** (c) menggunakan rangkaian elektronika daya untuk mengatur nilai resistansi rotor. Sistem ini memungkinkan memperbaiki jangkauan kecepatan yang bisa dikendalikan sistem pertama.

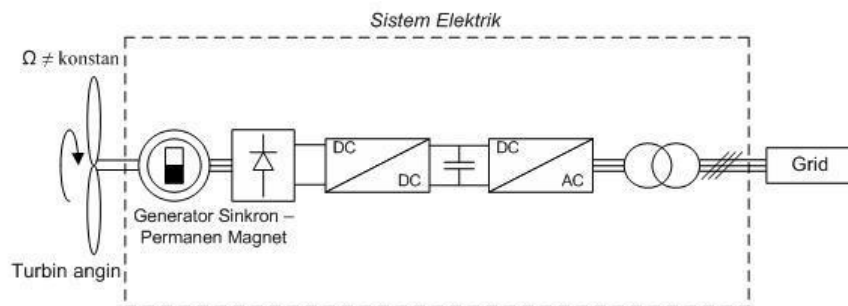


Gambar 1.16 Sistem PLTB kecepatan berubah

Sistem **VARIABLE SPEED** (d) dan (e) adalah sistem PLTB yang dibedakan berdasarkan jenis generator yang digunakan.



Gambar 1.17 Sistem PLTB kecepatan berubah (rotor sangkar)



Gambar 1.18 Sistem PLTB kecepatan berubah

2 Jenis-Jenis Turbin Angin

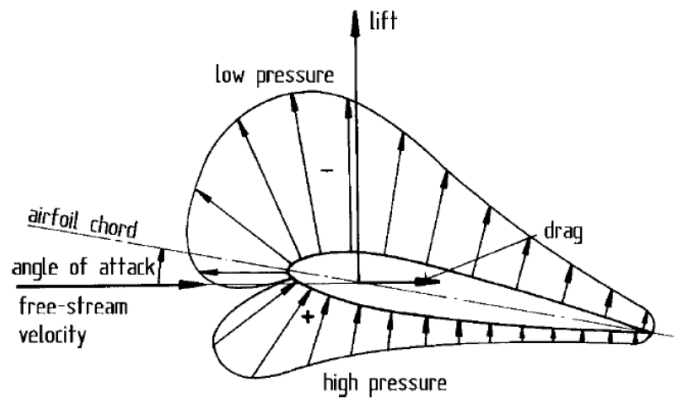
Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian, yaitu; jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag* dan jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya *lift*.

Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis sudu. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya *drag* memiliki putaran rotor relative rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya *lift*.

Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu; turbin angin sumbu horizontal (TASH) dan turbin angin sumbu vertikal (TASV).

a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling – baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor.

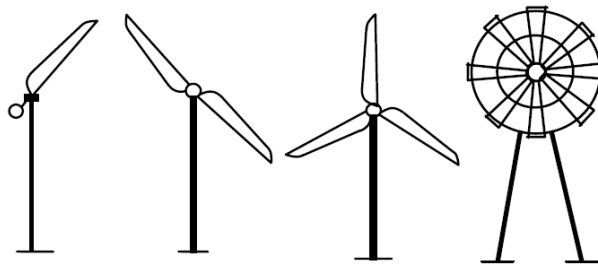


Gambar 1.19 Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara.

Sumber: *Wind Turbine* , Eric Hau, 2006

Turbin mengarah pada angin berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya *lift* dan gaya *drag*, namun gaya *lift* jauh lebih besar dari gaya *drag* sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe *lift*, seperti terlihat pada gambar 90. Sedangkan jika dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi:

- a. Turbin angin satu sudu (*single blade*)
- b. Turbin angin dua sudu (*double blade*)
- c. Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
- d. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)



Single bladed, two bladed, three bladed and multi bladed turbines

Gambar 1.20 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu

Sumber: Sathyajith Mathew , hal 17

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam, yaitu; *Upwind* dan *Downwind*.

Turbin Angin *Upwind*

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi/menurut jurusan arah angin.



Gambar 1.21. Turbin angin jenis *upwind*

Sumber: rapidshared.com

Rotor pada turbin *upwind* terletak di depan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling – baling. Untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme *yaw* seperti ekor turbin. Keuntungannya dari jenis rotor *upwind*, yaitu; naungan menara Berkurang, udara akan mulai menekuk di sekitar menara sebelum berlalu begitu sehingga ada kehilangan daya dari gangguan yang terjadi. Sedangkan kekurangannya, membutuhkan *nacelle* yang panjang untuk menjaga rotor sejauh mungkin dari menara untuk menghindari terjadinya tabrakan sudu, sudu dibuat kaku untuk menghindari sudu melentur ke arah menara.

Turbin Angin *Downwind*

Turbin angin *downwind* memiliki rotor di sisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme yaw. Keunggulannya yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan, biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi tegangan pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur memberikan beban angin didistribusikan secara langsung ke sudu daripada ke menara. Sudu yang fleksibel dapat juga sebagai kekurangan dimana kelenturannya menyebabkan kelelahan sudu. Dibelakang menara merupakan masalah dengan mesin *downwind* karena menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin.



Gambar 1.22 Turbin angin jenis *downwind*
Sumber: rapidshared.com

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu vertikal kurang efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu horizontal.

Turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

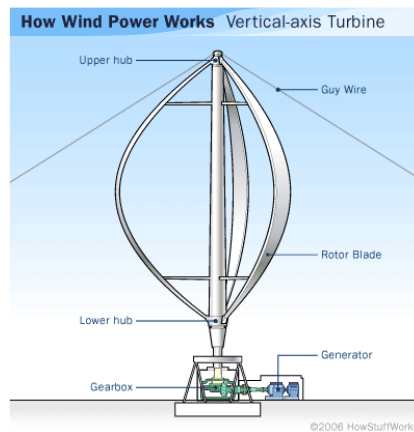
- a. Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.

- b. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
- c. Konstruksi turbin sederhana
- d. Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

Turbin angin vertikal dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a. Turbin Angin Darrieus

Turbin angin Darrieus pada umumnya dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin Darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin Darrieus merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin.



Gambar 1.23 Turbin angin Darrieus
Sumber: rapidshare.com

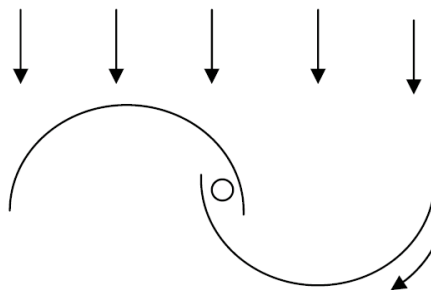
Turbin Darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin Savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin Darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin Darrieus disebut dengan turbin angin H.



Gambar 1.24 Turbin angin Darrieus tipe-H
Sumber: rapidshared.com

b. Turbin Angin Savonius

Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada gambar 95.



Gambar 1.25. Prinsip rotor savonius
Sumber: Sathyajith Mathew, hal 21

Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya

hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.

Metode dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin savonius memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin Darrius. Turbin savonius tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini dibanding turbin Darrieus.



Gambar 1.26 Turbin angin savonius

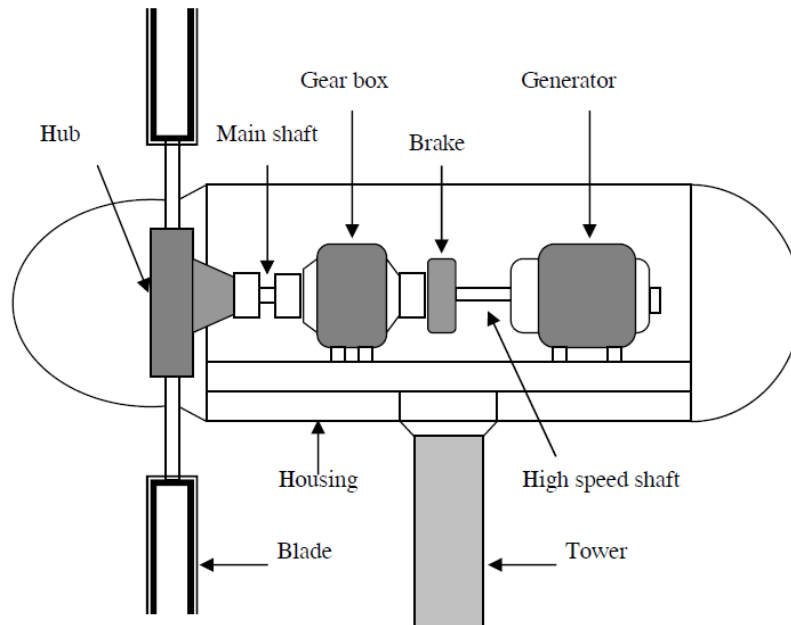
Daya dan putaran yang dihasilkan turbin savonius relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini tidak sesuai digunakan untuk pembangkit listrik dikarenakan *tip speed ratio* dan faktor daya yang relatif rendah.

Sudu Pengarah diperlukan pada turbin savonius, hal ini dikarenakan bentuk sudu di bagian kiri dan kanan yang langsung dihadapkan dengan arah angin memiliki gaya hambat (*drag*) yang berbeda. Bila dilihat dari arah angin, bagian kiri memiliki bentuk sudu cembung sedangkan bagian kanan berbentuk cekung. Untuk itu diperlukan sudu pengarah, dengan tujuan mengarahkan aliran angin sehingga energi angin setelah menggunakan sudu pengarah dapat dimanfaatkan semaksimal.

3. Komponen-Komponen Turbin Angin

Sistem turbin angin yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik mempunyai komponen utama dan sistem pendukung. Komponen utama terdiri

dari; turbin angin, sistem transmisi putaran/daya, generator. Sedangkan sistem pendukung, seperti menara turbin dan sistem kelistrikan.



Gambar 1.27 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal

a. Sistem Transmisi

Sistem transmisi daya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan rasio putaran masukan dan keluarannya yaitu:

1. *direct drive*
2. *speed reducing*
3. *speed increasing*

Direct drive yang dimaksud adalah transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling. Pada sistem transmisi ini tidak ada penurunan dan peningkatan putaran. Sistem transmisi *speed reducing* adalah sistem transmisi dengan penurunan putaran, dimana putaran masuk lebih rendah dari putaran keluarannya. Tujuan penggunaan sistem transmisi ini adalah untuk meningkatkan momen gaya pada transmisi keluarannya. Sedangkan sistem transmisi *speed increasing* yaitu putaran keluarannya lebih besar dari putaran masukan, namun momen gaya pada transmisi keluarannya lebih rendah.

Penerapannya, sistem transmisi *direct drive* hanya menggunakan poros dan kopling jika diperlukan. Konstruksi *direct drive* lebih sederhana dibandingkan

dengan sistem transmisi lain, tidak membutuhkan ruang yang besar untuk sistem transmisi. Sistem transmisi *speed reducing* dan *speed increasing* memerlukan mekanisme pengubah putaran seperti pasangan sabuk-puli dan pasangan roda gigi dengan rasio putaran tertentu. Turbin angin yang putaran rotornya berada dalam selang putaran kerja generator, maka transmisi daya yang digunakan adalah *direct drive*, rotor menggerakkan generator secara langsung, namun hal ini sangat jarang aplikasinya dijumpai di lapangan.

Sistem transmisi yang digunakan pada turbin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah *speed increasing*, karena generator pada umumnya membutuhkan putaran yang tinggi. Sedangkan turbin angin dengan sistem transmisi *speed reducing* biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan putaran rendah dan momen gaya yang besar, seperti turbin angin untuk memompa air.

b. Generator Listrik

Turbin angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik tentu memerlukan generator yang berguna mengubah energi mekanik gerak rotasi rotor menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis generator yang digunakan. Berdasarkan arah arus yang dikeluarkan, generator dibagi menjadi dua jenis yaitu:

a. Generator arus searah (*Direct Current - DC*)

b. Generator arus bolak – balik (*Alternating Current - AC*)

Generator arus searah (DC) menghasilkan tegangan yang arahnya tetap dan jika dihubungkan dengan beban akan menghasilkan arus searah pula. Pada umumnya generator arus searah dapat menghasilkan energi listrik pada putaran tinggi. Jenis generator ini memerlukan sistem transmisi untuk menaikkan putaran (*speed increasing*). Generator arus bolak – balik (AC) menghasilkan tegangan yang arahnya bolak – balik dan jika dihubungkan dengan beban akan menimbulkan arus bolak – balik pula.

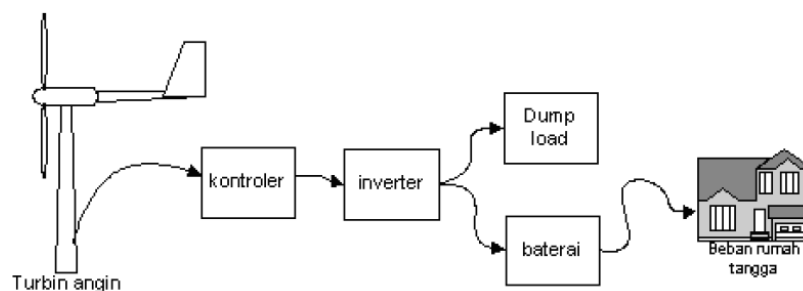
Generator AC dapat menghasilkan daya pada putaran yang bervariasi bergantung pada spesifikasi generator itu sendiri. Besar putaran minimal yang diperlukan generator AC untuk dapat menghasilkan energi listrik dan besar putaran kerja bergantung pada jumlah kutub dan kumparan dalam generator, semakin banyak jumlah kumparannya maka semakin kecil putaran minimal dan

putaran kerjanya. Jumlah kumparan merupakan kelipatan dari jumlah kutub yang dimiliki generator. Putaran turbin yang memiliki putaran yang relatif rendah, digunakan jenis generator magnet permanen dengan variasi jumlah kutub, semakin banyak jumlah kutub generator maka putaran yang dibutuhkan semakin kecil untuk membangkitkan listrik dan sebaliknya. Generator yang menggunakan magnet permanen sebagai penginduksi kumparannya disebut generator magnet permanen.

c. Sistem Kelistrikan Turbin Angin

Turbin angin pembangkit energi listrik tentu memiliki sistem kelistrikan yang merupakan bagian dari rantai konversi energi angin menjadi energi listrik. Sistem kelistrikan turbin angin dapat dibedakan menjadi tiga sistem kelistrikan, yaitu;

- a. Sistem jaringan lepas dari jaringan (*off-grid wind-electric system*)
- b. Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai (*grid tied wind-electric system with battery backup*)
- c. Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai (*batteryless grid tied wind-electric system*)
4. Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai (*direct-drive batteryless wind-electric system*)

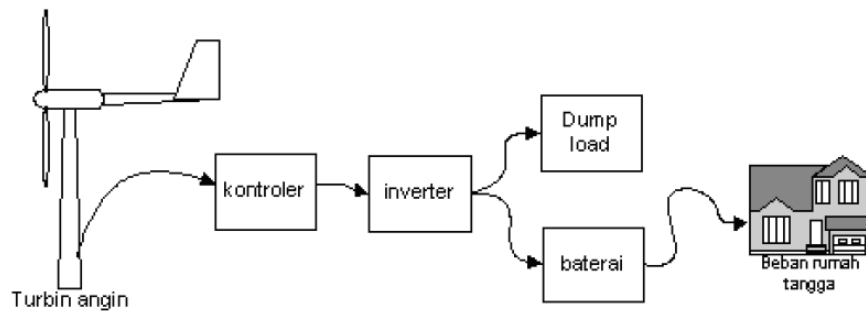


Gambar 1.28 Sistem kelistrikan pembangkit listrik turbin angin

a. Sistem Kelistrikan Lepas Jaringan

Sistem listrik turbin angin lepas jaringan berbasis pada penggunaan baterai. Sistem ini dipilih jika penggunaan energi terhubung dengan jaringan atau akan lebih mahal jika terhubung dengan jaringan karena membutuhkan perangkat

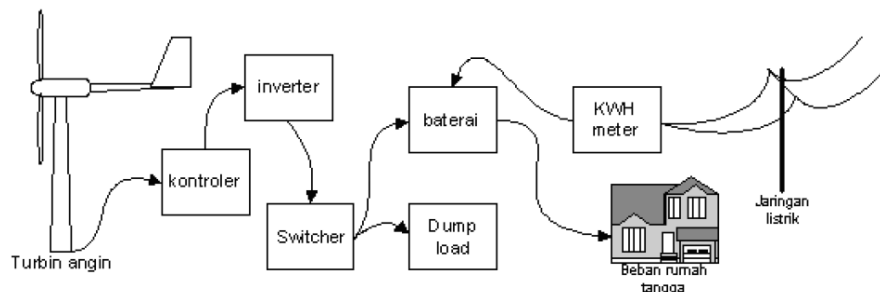
tambahan. Sistem lepas jaringan terbatas dalam kapasitas oleh ukuran sumber pembangkit listrik, sumber energi angin, dan kapasitas baterai.



Gambar 1.29 Sistem kelistrikan lepas jaringan

b. Sistem Kelistrikan Terhubung Dengan Baterai

Sistem ini menghubungkan sistem kelistrikan turbin angin dengan jaringan dan baterai adalah sistem terbaik untuk penggunaan rumah tangga. Kapasitas listrik tidak terbatas dan kelebihan energi listrik dapat dijual masuk ke dalam jaringan. Ketika jaringan listrik padam, kapasitas baterai (meskipun terbatas) dan turbin tetap dapat menyuplai energi listrik untuk beban rumah tangga. Kekurangannya adalah sistem ini mahal untuk diterapkan dalam rumah tangga.

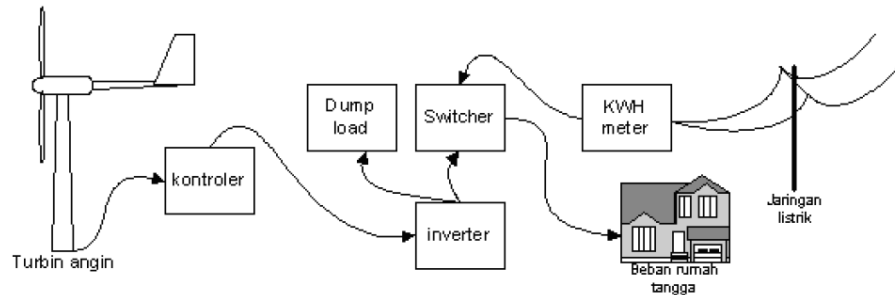


Gambar 29. Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai

c. Sistem Kelistrikan Terhubung Tanpa Baterai

Sistem ini menghubungkan sistem kelistrikan turbin angin dengan jaringan tanpa menggunakan baterai merupakan pilihan yang efektif untuk aspek biaya dan lingkungan. Sistem ini mengeliminasi baterai yang mahal harganya maupun pemeliharaannya, juga secara signifikan mengurangi efisiensi sistem. Kekurangan sistem ini adalah jika jaringan listrik padam, tidak ada sumber energi cadangan untuk mengatasi kekurangan listrik. Sistem tanpa baterai dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan

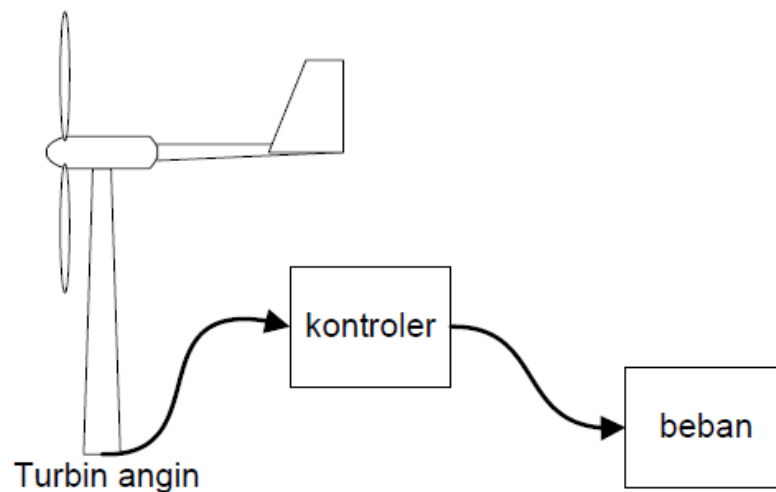
baterai. Hal ini karena inverter dapat menyesuaikan beban angin lebih baik, menjalankan turbin angin pada kecepatan maksimal dan mengekstrak energi angin lebih besar.



Gambar 1.30 Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai

d. Sistem Kelistrikan Langsung Tanpa Baterai

Sistem kelistrikan turbin angin yang paling umum, biasanya digunakan untuk memompa air. Turbin angin dihubungkan dengan pompa air melalui kontroler atau langsung. Ketika angin bertiup, pompa air akan menaikkan air ke tangki penyimpanan. Penggunaannya dapat untuk irigasi maupun untuk keperluan lainnya.



Gambar 1.31 Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai

4. Parameter Kinerja Turbin Angin

Prinsip konversi energi angin yang digunakan untuk menghitung besarnya energi kinetik yang dihasilkan. Energi angin dilihat dari energi kecepatan aliran angin, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan energi kinetik (E_k).

$$E_k = \frac{1}{2} m u_0^2$$

dimana : m = massa angin yang mengalir (kg)

u_0 = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik angin inilah yang diekstrak sudu turbin angin untuk diubah menjadi energi mekanis. Dilihat dari pemodelan Betz', kecepatan angin u_0 dan kerapatan ρ dengan luas sapuan rotor turbin A_1 , daya angin yang dapat diekstrak turbin angin adalah:

$$P_T = \frac{1}{2} C_p A_1 \rho u_0^3$$

Parameter Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal

1. Daya Turbin

Daya Turbin, adalah laju energi yang dapat diserap oleh turbin dari angin yang merupakan hasil perhitungan dari variabel yang diukur seperti beban, ketinggian dan waktu. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut

$$P_T = T \cdot \omega$$

dimana: P_T = daya (watt)

T = Torsi pengereman (N.m)

ω = Putaran turbin (rps)

Daya Angin, adalah laju potensi energi yang tersedia oleh angin yang besarnya merupakan hasil pengukuran kecepatan angin dan data spesifik dari bilah yang mengikuti persamaan berikut :

$$P_A = 0,5 \rho U_A^3 S$$

dimana: ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

U_A = kecepatan angin (m/det)

S = Span Area (m²)

Effisiensi turbin (C_p) adalah perbandingan daya yang dapat diserap turbin dengan daya angin yang mengikuti persamaan berikut :

$$C_p = \frac{P_T}{P_A}$$

Tip speed Ratio (λ) adalah perbandingan kecepatan bilah turbin dengan kecepatan angin di formulasikan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega.R}{U_A}$$

dimana: ω = Kecepatan putar turbin (rpm)

R = Panjang lengan pemegang bilah (m)

Kerapatan turbin (σ) adalah perbandingan luasan bilah turbin dengan luasan sapuan turbin yang di formulasikan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{N.c}{D}$$

dimana: N = Jumlah bilah

c = Panjang chord (m)

D = Diameter lengan pemegang bilah

3. Tip Speed Ratio (λ)

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor.

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

4. Daya Listrik Yang Dapat Dibangkitkan (P_e)

Daya listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin diperoleh melalui persamaan berikut :

$$P_e = \eta_g \eta_T \frac{1}{2} C_{p,\max} \rho A_2 v_1^3$$

1.2.3 Teknologi Pemanfaatan Energi Matahari Dipesisir Pantai

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. Suplai energi *solar cell* dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai 3×10 joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini.

Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang λ dan frekuensi photon V dirumuskan dengan persamaan:

$$E = h.c / \lambda$$

Dengan :h adalah konstanta *Plancks* (6.62×10^{-34} J.s)

c adalah kecepatan cahaya dalam vakum (3.00×10^8 m/s).

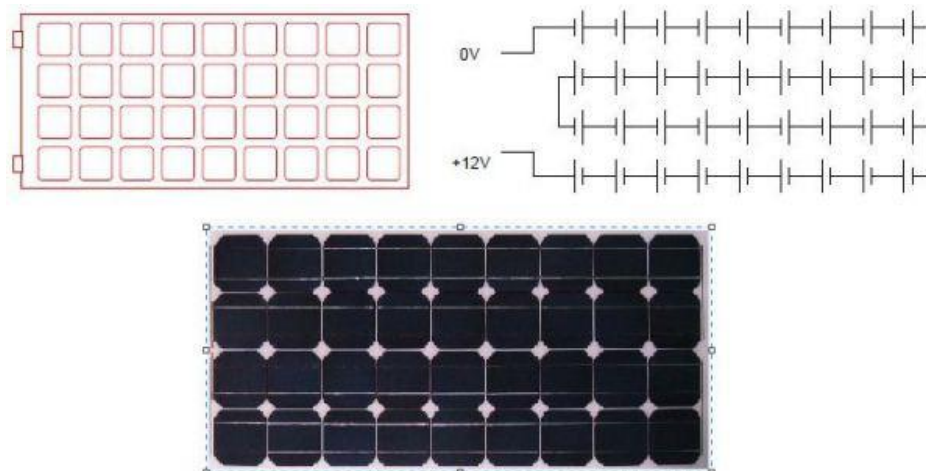
Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Penggunaan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n, cahaya yang datang akan mampu dirubah menjadi energi listrik.

Sel *solar cell* terdiri dari beberapa komponen, yaitu; Substrat/Metal backing, Material semikonduktor, Kontak metal / *contact grid* dan Lapisan antireflektif

1. Parameter Kinerja Sel *Solar cell*

Sel *solar cell* komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel *solar cell* disusun secara seri membentuk modul *solar cell*. Satu modul *solar cell* biasanya terdiri dari 28-36 sel *solar cell*, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5).

Modul *solar cell* tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar dibawah menunjukkan ilustrasi dari modul *solar cell*.

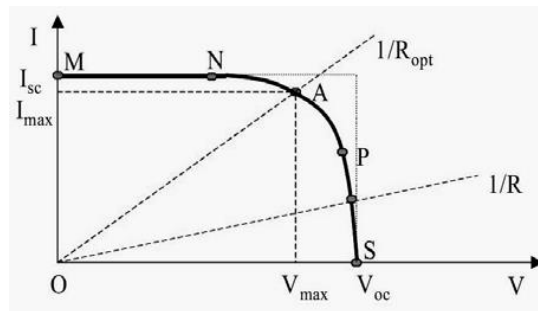


Gambar 1.32 Modul sel *solar cell* biasanya terdiri dari 28-36 sel

2. Performansi Sel Solar cell

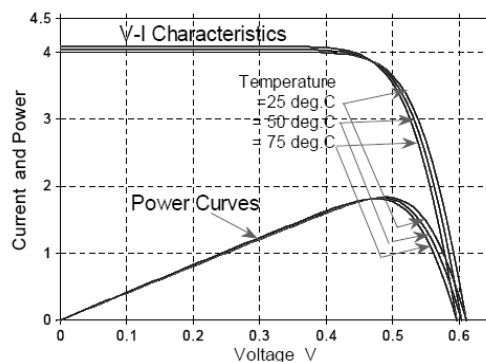
Performa sel *solar cell* dapat dilihat dari daya output listrik yang dihasilkan. Daya listrik yang dihasilkan sel *solar cell* ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel *solar cell* tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama.

Kondisi saat sel *solar cell* dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum pada titik. Daya maksimum ini terjadi saat I_{sc} dan V pada saat maksimum.



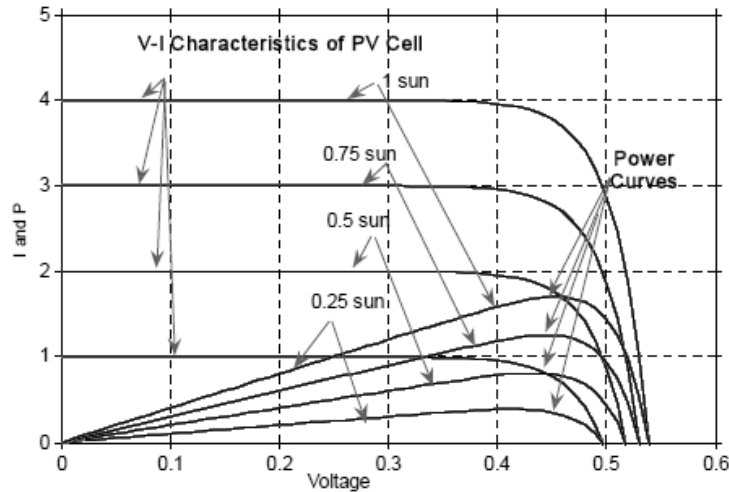
Gambar 1.33 Karakteristik kurva I-V pada sel *solar cell*

Performa sel *solar cell* selain intensitas cahaya matahari, kemiringan sudut sel *solar cell* juga dipengaruhi oleh temperatur permukaan sel *solar cell*, kenaikan temperatur permukaan sel *solar cell* dapat menurunkan performa sel *solar cell*. Penurunan ini terjadi karena penurunan arus listrik yang dihasilkan



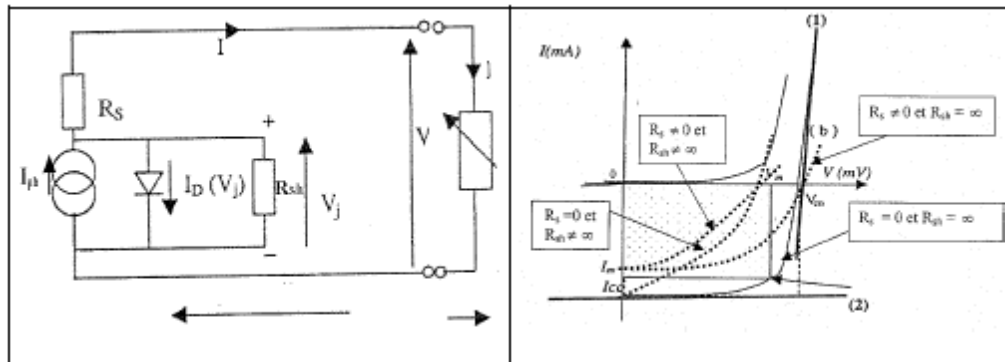
Gambar 1.34 Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan temperatur

Sedangkan perubahan iradiasi pada permukaan sel *solar cell* sangat mempengaruhi kinerja dari sel *solar cell* tersebut, ini terlihat pada penurunan arus listrik dan tegangan sel *solar cell* pada saat terjadi penurunan cahaya matahari yang mengenai permukaan sel *solar cell*.



Gambar 1.35 Kurva karakteristik i-v terhadap perubahan iradiasi

Skema ekivalen sebuah sel *solar cell* menggambarkan karakteristik tegangan-arus keadaan gelap dan keadaan penyinaran



Gambar 1.36 Skema ekivalen sebuah sel *solar cell*

Karakteristik arus - tegangan (I - V) sambungan P-N dapat diturunkan sebagai berikut, berdasarkan gambar, maka dapat dituliskan persamaan arus, sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

Arus diode I_d merupakan jumlahan dari arus mayoritas I_D dan arus generasi-rekombinasi I_R .

$$I_d = I_D + I_R = I_{0D} \left(\exp \frac{qV_a}{k_B T} - 1 \right) + I_{0R} \left(\exp \frac{qV_a}{2k_B T} - 1 \right)$$

V_a adalah tegangan terpasang, k_B konstanta Boltzmann, dan T adalah suhu mutlak dalam kelvin. Dengan demikian persamaan arus listrik adalah sebagai berikut;

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV + R_s I}{nk_B T} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

I_0 adalah arus jenuh diode.

Untuk menyederhanakan perhitungan parameter sel *solar cell* ideal, tahanan seri R_s diambil nol dan tahanan paralel R_{sh} adalah tak berhingga, sehingga diperoleh persamaan karakteristik I-V:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nk_B T} \right) - 1 \right]$$

n menyatakan ketidakidealan diode ($n = 1$ untuk diode ideal). Untuk rangkaian terbuka ($I = 0$), maka diperoleh V_{oc} yang besarnya dapat dinyatakan dengan rumus;

$$V_{oc} = n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \approx n \left(\frac{k_B T}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right)$$

Sedangkan efisiensi konversi η didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik maksimum dan daya matahari yang datang pada sel *solar cell*, dengan factor bentuk FF (berkaitan dengan keidealan diode) memungkinkan dapat dinyatakan efisiensi dengan parameter optimal I_{cc} dan V_{co} . I_{cc} adalah arus ketika rangkaian terhubung pendek ($V = 0$) merupakan parameter fotovoltaik yang menggambarkan kapasitas sel *solar cell* menangkap foton sehingga menghasilkan pembawa muatan bebas. Sedangkan tegangan rangkaian terbuka V_{co} ($I = 0$) menggambarkan mekanisme rekombinasi dalam sel *solar cell*. Faktor bentuk FF dapat dinyatakan dalam persamaan

$$FF = FI \left(1 - \frac{V_{co}}{R_{sh} I_{cc}} - \frac{I_{cc} R_s}{V_{co}} - \frac{R_s}{R_{sh}} \right)$$

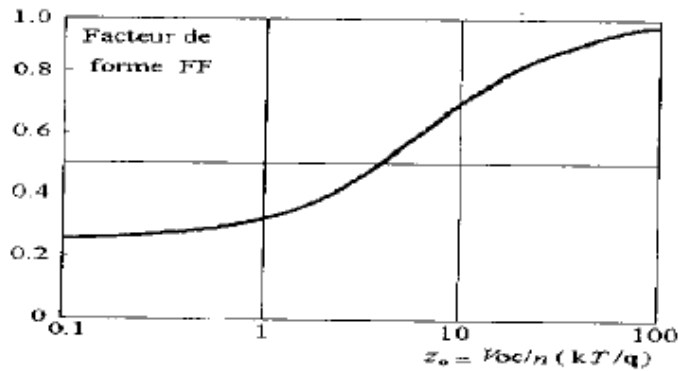
Selanjutnya dapat dinyatakan hubungan antara faktor idealitas diode (FI), V_{co} dan n dalam bentuk persamaan;

$$FI = \frac{I_m V_m}{I_{cc} V_{co}} = \frac{V_m \left(I_{cc} - I_0 \left(\exp \frac{qV_m}{nkT} - 1 \right) \right)}{V_{co} I_0 \left(\exp \frac{qV_{co}}{nkT} - 1 \right)}$$

Jika $z_o = qV_{co}/nkT$ dan $z_m = qV_m/nkT$, FI dapat dinyatakan :

$$FI = \frac{z_m}{z_o} \frac{\exp z_o - \exp z_m}{\exp z_o - 1}$$

Pada umumnya para peneliti mengambil keadaan ideal dengan mengambil $R_s = 0$, dan $R_{sh} = \infty$, sehingga $FF = FI$. Bentuk faktor bentuk sebagai fungsi z_o .



Gambar 1.37 Faktor bentuk FF sebagai fungsi z_o

Daya dan efisiensi sel *solar cell*

1. Daya solar cell

Energi listrik atau daya listrik yang dihasilkan sel *solar cell* dapat dihitung dari hasil perkalian arus listrik dan tegangan yang dihasilkan oleh sel *solar cell*, dengan menggunakan rumus berikut;

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc}$$

Dimana: P_{out} = daya sel *solar cell* (watt)

V_{oc} = tegangan saat open-circuit (volt)

I_{sc} = arus yang mengalir sirkuit (ampere)

2. Efisiensi sel *solar cell*

Efisiensi sel *solar cell* diperoleh dengan perbandingan energi matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik oleh sel *solar cell*. Efisiensi sel *solar cell* komersial berkisar rata-rata 15 - 20 %.

Besarnya energi input yang dikonversi sel *solar cell* dapat dihitung dengan mengukur besarnya intensitas cahaya matahari dengan alat solarmeter. Besarnya efisiensi sel *solar cell* dapat dihitung dengan rumus berikut;

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{\text{surya}}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{\text{surya}}}$$

dimana FF adalah faktor bentuk (*fill factor*)

Sedangkan efisiensi sel *solar cell* dalam bentuk sub modul dan modul dari berbagai bahan sel *solar cell*

1.2.4 Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid Energi Terbarukan

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) adalah suatu sistem pembangkit listrik dengan memadukan beberapa sumber energi baru dan terbarukan. PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid) adalah membangkitkan listrik digunakan lebih dari 1 macam pembangkit.

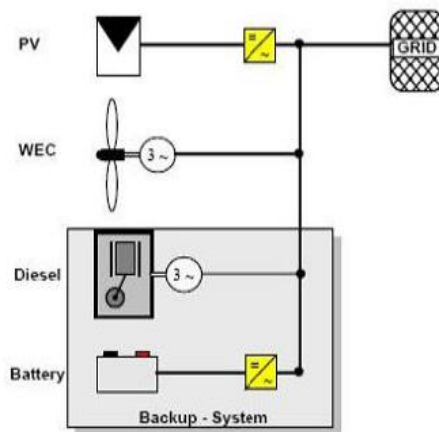


Gambar 1.38 Model pembangkit listrik hibrid

Pembangkit listrik hibrid dalam sistem penggabungan sumber pembangkit listrik mempunyai model penggabungan sumber pembangkit, diantaranya penggabungan pembangkit listrik dengan sumber tenaga energi terbarukan, penggabungan jenis pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan dan energi tidak terbarukan.

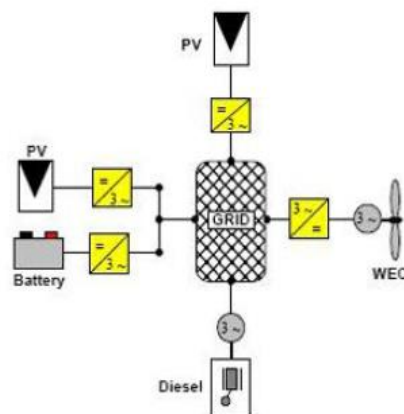
Berikut model pembangkit listrik hibrid dengan kombinasi sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dengan yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), sebagai berikut;

1. Pembangkit-pembangkit dan baterai dipasang disuatu lokasi dan dihubungkan ke AC bus sebelum dikoneksikan ke grid.



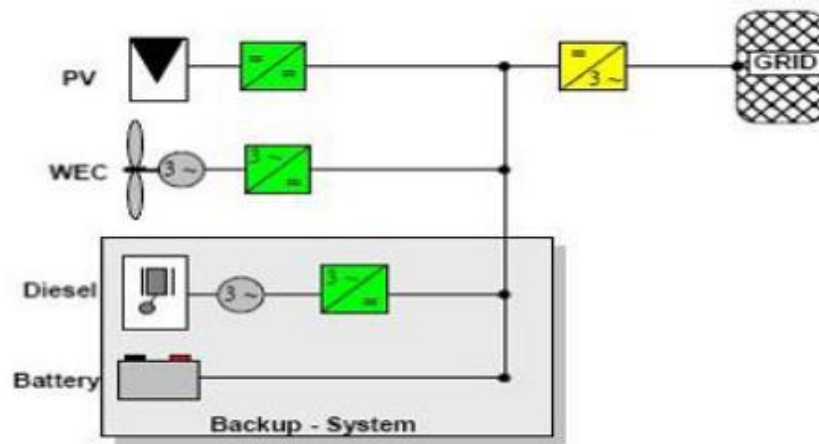
Gambar 1.38 Model pembangkit listrik hibrid

2. Pembangkit terdistribusi pada lokasi yang berbeda dan setiap pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah.



Gambar 1.40 Konsep arsitektur setiap pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah

3. Dilakukan konversi tegangan AC ke DC pada pembangkit yang menghasilkan daya AC. Selanjutnya daya DC tersebut dikoneksikan ke DC bus dan sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).



Gambar 1.41 Konsep arsitektur sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).

BAB 2

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan sebagai berikut;

1. Menganalisa potensi energi terbarukan di pesisir pantai selatan Jawa Timur, yaitu energi angin di pesisir pantai yang dapat dikonversi menjadi energi listrik.
2. Mendesain sistem pembangkit listrik hybrid dengan mengkonversi energi angin menjadi listrik dengan mendesain wind turbin Darius NACA airfoil.
3. Membuat model sistem penyimpanan energi listrik dari konversi energi energi angin yang digunakan untuk suplai energi listrik pembangkit hybrid dipesisir pantai selatan Jawa Timur.
4. Melakukan uji coba turbin angin dariieus pada kondisi lingkungan sesungguhnya di pesisir pantai selatan Jawa Timur, seperti pantai tamban kabupaten Malang Jawa Timur sebagai pembangkit listrik hibryd.
5. Menganalisis kinerja performa sistem pembangkit listrik hibrid dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan di pesisir pantai selatan Jawa Timur, yaitu membuat sistem konversi energi angin dengan wind turbin Darrieus NACA airfoil.

2.2. Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa manfaat baik bagi masyarakat ataupun pengembangan teknologi pembangkit listrik energi terbarukan di Indonesia, antara lain;

1. Memberikan kesadaran kepada masyarakat pentingnya untuk memanfaatkan energi terbarukan yang melimpah di sekitar mereka untuk digunakan memenuhi kebutuhan energi listrik sehari-hari.
2. Membantu Kemandirian masyarakat pesisir pantai Jawa Timur dalam penyediaan energi listrik diperlukan dengan pemanfaatan potensi energi terbarukan di pesisir pantai, seperti; energi ombak, energi angin dan energi

matahari untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, terutama pada daerah yang belum ada listrik PLN.

3. Teknologi hasil penelitian dapat digunakan dalam skala mini pembangkit listrik hybrid untuk digunakan sebagai penerangan di daerah pesisir pantai.
4. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi untuk membuat pembangkit listrik hybrid energi terbarukan yang melimpah dipesisir pantai.
5. Pembangkit listrik hibrid energi terbarukan dapat menghasilkan energi listrik lebih efisien, hemat biaya dan ramah lingkungan.
6. Memberikan motivasi dan inspirasi warga sekitar pantai untuk memanfaatkan sumber energi yang melimpah, seperti energi ombak, angin dan matahari untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sehari-hari.
7. Memberikan gambar warga sekitar pantai tentang teknologi yang menggabungkan sistem konversi energi terbarukan (energi gelombang laut/ombak, energi angin dan energi matahari) menjadi satu sistem pembangkit listrik hibrid energi terbarukan dengan teknologi hibrid On-Grids.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pendekatan Masalah

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian berbasis masalah, dimana sebelum dilakukan penelitian dilakukan kajian terlebih dahulu terkait beberapa masalah yang ada, seperti: 1). Permasalahan yang dihadapi masyarakat pesisir pantai selatan Jawa Timur yang banyak belum teraliri listrik PLN, 2). Potensi energi terbarukan di pesisir pantai selatan Jawa Timur yang melimpah, seperti energi angin yang belum di manfaatkan secara optimal sebagai pembangkit listrik, 3) masih kurangnya pasokan energi listrik pada daerah-daerah pesisir pantai di Jawa Timur, 4) kecepatan rata-rata angin di pesisir pantai yang dapat dikonversi dengan turbin angin menjadi energi listrik, dan 5) menganalisis model jenis turbin angin yang cocok diterapkan di pesisir pantai selatan Jawa Timur.

Berdasarkan analisis masalah dan potensi yang ada di pesisir pantai selatan Jawa Timur dibuat metode penelitian untuk menghasilkan teknologi model turbin angin dan sistem pendukung pembangkit kelistrikan *hybrid* yang tepat untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi masyarakat di pesisir pantai selatan Jawa Timur dengan mendesain dan penerapan turbin angin Darrieus NACA airfoil.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen, Penelitian menitikberatkan teknologi konversi energi angin menjadi energi listrik dengan sistem pembangkit listrik *hybrid* dengan wind turbin Darrieus NACA airfoil. Objek penelitiannya adalah Desain sistem pembangkit listrik *hybrid* Darrieus NACA airfoil untuk mengatasi kebutuhan energi listrik masyarakat pesisir pantai di Kabupaten Malang Jawa Timur yang dijadikan. Variabel penelitian dalam penelitian ini adalah;

- a. Variabel bebas.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah model Darrieus NACA airfoil yang diaplikasikan di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur untuk skala laboratorium dengan model turbin angin Darrieus NACA airfoil menggunakan jumlah blad turbin angin 4 blade dan 6 blade dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0 .

a. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah mengkaji dan menganalisis performa sistem pembangkit listrik *hybrid* dengan menggunakan turbin angin Darrieus NACA airfoil dengan memanfaatkan kecepatan angin secara alamiah di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur. Adapun variabel yang dianalisis terdiri dari performa turbin Darrieus NACA airfoil dalam menghasilkan energi listrik.

b. Variabel kontrol.

Variabel kontrol yang diperlukan pada penelitian penerapan turbin angin Darrieus NACA airfoil di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur adalah bahan material pembuatan turbin angin, material blade menggunakan lembaran plat galvanis, poros turbin menggunakan baja ST 60, rasio gear transmisi 1: 20, Tinggi pemasangan turbin angin 6 meter, dimensi diameter 1000 mm, tinggi blade turbin 1200 mm, generator 3 fase 0-220 V, 500 watt.

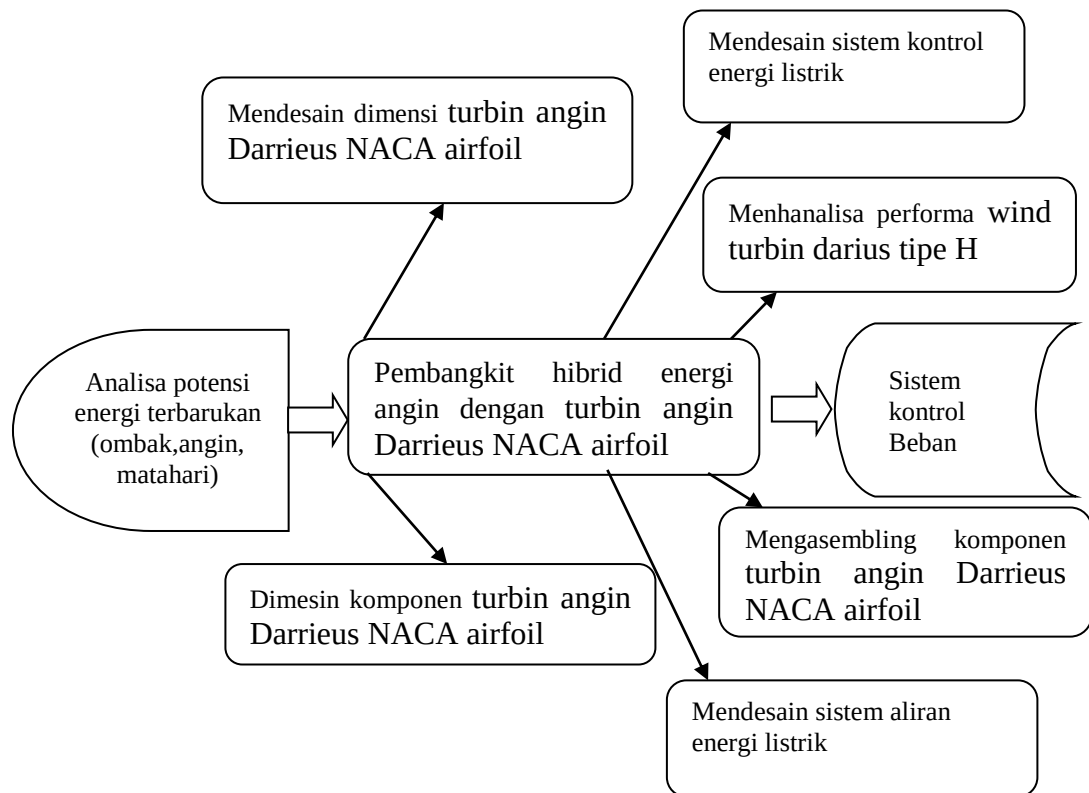
3.3 Tahapan penelitian

Penelitian pengembangan pembangkit listrik hybrid energi terbarukan di pesisir pantai selatan Jawa Timur dengan menggunakan turbin angin Darrieus NACA airfoil dibagi menjadi beberapa tahap penelitian, sebagai berikut;

- a. Tahap **pertama**, menganalisa kebutuhan energi listrik di pesisir pantai selatan Jawa Timur (di Kabupaten Malang).
- b. Tahap **kedua**, Mengukur dan menganalisis kecepatan rata-rata angin di pesisir pantai selatan Jawa Timur, yaitu Pantai Tamban di Kabupaten Malang Jawa Timur.
- c. Tahap **ketiga**, Mendesain sistem pembangkit *hybrid* energi angin dengan turbin angin Darrieus NACA airfoil.

- d. Tahap **keempat**, membuat komponen-komponen turbin angin Darrieus NACA airfoil.
- e. Tahap **kelima**, membuat sistem kelistrikan sistem pembangkit *hybrid* turbin angin Darrieus NACA airfoil
- f. Tahap **kenam**, membuat sistem kontrol sistem pembangkit *hybrid* turbin angin Darrieus NACA airfoil
- g. Tahan **ketujuh**, merakit dan mengimplementasikan sistem pembangkit *hybrid* turbin angin Darrieus NACA airfoil di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa timur.
- h. Tahan **kedelapan**, menganalisa performa sistem pembangkit *hybrid* turbin angin Darrieus NACA airfoil

Secara lengkap rancangan penelitian dapat digambarkan dengan *flow chart* sebagai berikut;



Gambar 3.1 Flow chart rancangan penelitian

4.4 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis energi angin di pesisir selatan Pantai Tambora di Kabupaten Malang menggunakan model turbin angin Darrieus NACA airfoil dengan jumlah 4 blade dan 6 blade.



a) Turbin angin Darrieus NACA airfoil 4 blade



b) Turbin angin Darrieus NACA airfoil 6 blade

Gambar 3.2 Instrumen Penelitian

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data, dilakukan dengan mengukur kecepatan angin dan energi listrik yang dihasilkan turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dan 6 blade. Perubahan kecepatan angin yang secara alamiah di pesisir pantai yang menerpa blade turbin berputar diukur. Setiap perubahan kecepatan angin dilakukan juga pengukuran daya listrik yang dihasilkan oleh generator turbin, dengan mengukur voltase dan arus listrik yang dihasilkan generator.

Pengukuran menggunakan data logger yang ditampilkan secara digital, pengukuran energi listrik dihasilkan dihitung rata-rata energi listrik yang dihasilkan perjam yang dapat disimpan sebagai energi listrik. Sedangkan pengukuran penggunaan energi listrik dengan menggunakan beban listrik dengan menggunakan lampu LED untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dapat dipakai perjam.

3.6 Teknik Analisi Data

Hasil data penelitian yang terekam pada data loger dianalisis dengan menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif-kualitatif. Data yang bersifat kuantitatif akan dianalisis dengan prosentase dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui performa sistem konversi energi angin menjadi listrik dengan menggunakan turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dan 6 blade yang digunakan sebagai sumber energi listrik pada sistem pembangkit listrik *hybrid* ON-grids energi terbarukan, sedangkan data yang bersifat kualitatif akan digambarkan dalam bentuk kata-kata atau kalimat dipisah-pisahkan menurut katagori untuk memperoleh kesimpulan.

BAB 4

HASIL LUARAN YANG TELAH DICAPAI

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa luaran sesuai dengan topik penelitian yang dilakukan setiap tahun, adapun luaran penelitiannya sistem pembangkit listrik energi angin dengan turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dan 6 blade, yaitu; 1) pengukuran dan analisis kecepatan angin rata-rata di pesisir pantai untuk menentukan model turbin angin yang akan didesain dan digunakan, 2) hasil uji performa dari desain turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dan 6 blade yang di gunakan di persisir pantai selatan di Kabupaten Malang Jawa Timur, dan 3) produk turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dan 6 blade yang dapat digunakan sebagai sistem pembangkit listrik untuk penerangan di pesisir pantai di Kabupaten Malang Jawa Timur.

a. Pengukuran kecepatan angin di pesisir pantaipantai selatan Jawa Timur

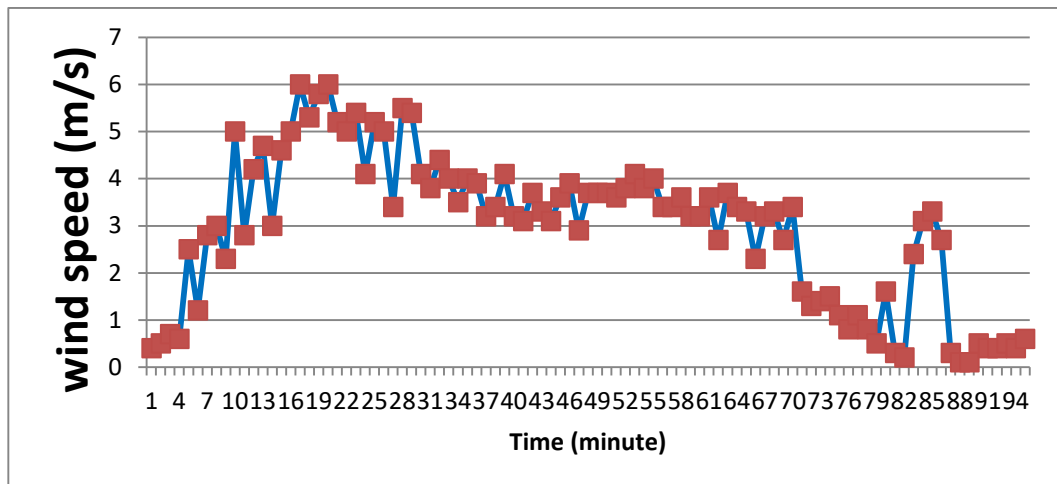
Data hasil pengukuran dan analisis kecepatan angin di pesisir pantai Tamban di kabupaten Malang Jawa Timur dengan rentang kecepatan angin 0,4-5,5 m/s, kecepatan angin yang dominan rata-rata 2 – 5 m/s. Dari hasil analisis kecepatan angin rata-rata dipesisir pantai 2 m/s sampai 5 m/s desain dari turbin angin yang di aplikasikan menggunakan turbin angin darrieus NACA airfoil dengan jumlah 4 blade dan 6 blade dengan sudut pict blad 10^0 dan 20^0 , pertimbangan penggunaan turbin angin darrieus adalah turbin angin darrieus NACA airfoil menghasilkan momen putar yang besar, kecepatan putar turbin tidak menimbulkan suara berisik, penempatan turbin tidak membutuhkan ruang penempatan yang luas.

Kecepatan angin di pesisir pantai setiap jam dapat mengalami perubahan kecepatan yan sangat dipengaruhi oleh perubahan cuaca, iklim dan kondisi siang dan malam.

Tabel 4.1 Analisis kecepatan energi angin di pesisir pantai selatan kabupaten Malang Jawa Timur

Time (t)	wind speed (m/s)	Time (t)	wind speed (m/s)	Time (t)	wind speed (m/s)	Time (t)	wind speed (m/s)
-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------------	------------------------

6,00	0,4	9,40	6	13,20	3,8	15,50	3,2
6,10	0,5	9,50	4,1	13,30	4,1	16,00	3,3
6,20	0,7	10,00	5,2	13,40	3,8	16,10	2,7
6,30	0,6	10,10	5	13,50	4	16,20	1,6
6,40	2,5	10,20	3,4	14,00	3,4	16,30	1,4
6,50	1,2	10,30	5,5	14,10	3,4	16,40	1,1
7,00	2,8	10,40	5,4	14,20	3,6	16,50	1,1
7,10	3	10,50	4,1	14,30	3,2	17,00	0,5
7,20	2,3	11,00	3,8	14,40	3,2	17,10	0,3
7,30	5	11,10	4,4	14,50	3,6	17,20	2,4
7,40	2,8	11,20	4	15,00	2,7	17,25	3,1
7,50	4,2	11,30	3,5	15,10	3,7	17,30	3,3
8,00	4,7	11,40	4	15,20	3,4	17,40	0,3
8,10	3	11,50	3,9	15,30	3,3	17,50	0,1
8,20	4,6	12,00	3,2	15,40	2,3	18,00	0,1
8,30	5,2	12,05	3,4	15,40	2,3	18,10	0,5
8,40	5,3	12,10	4,1	14,50	3,6	18,20	0,4
8,50	5,3	12,30	3,3	15,00	2,7	18,30	0,4
9,00	5,8	12,40	3,6	15,10	3,7	18,40	0,5
9,10	6	12,50	2,9	15,20	3,4	18,50	0,4
9,20	5,8	13,00	3,7	15,30	3,3	19,00	0,6
9,30	5	13,10	3,6	15,40	2,3		



Gambar 4.1 Grafik kecepatan angin di pesisir pantai tamban kabupaten malang

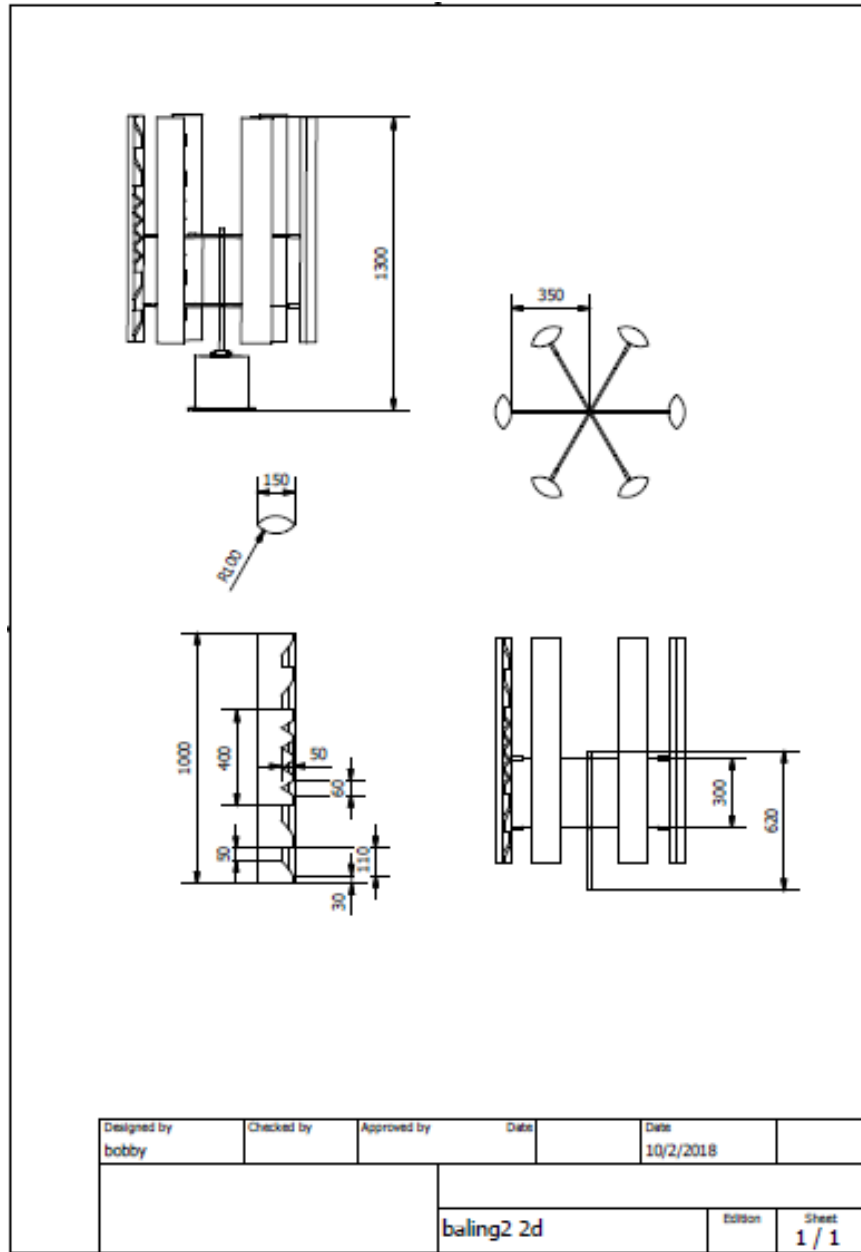
Gambar 4.1 menunjukkan grafik perubahan kecepatan angin yang mengalami perubahan yang fluaktif setiap jam, kondisi perubahan tidak terlalu besar, hal ini menunjukkan kecepatan rata-rata angin di pesisir pantai Tamban di kabupaten malang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin angin sebagai pembangkit listrik hybrid.

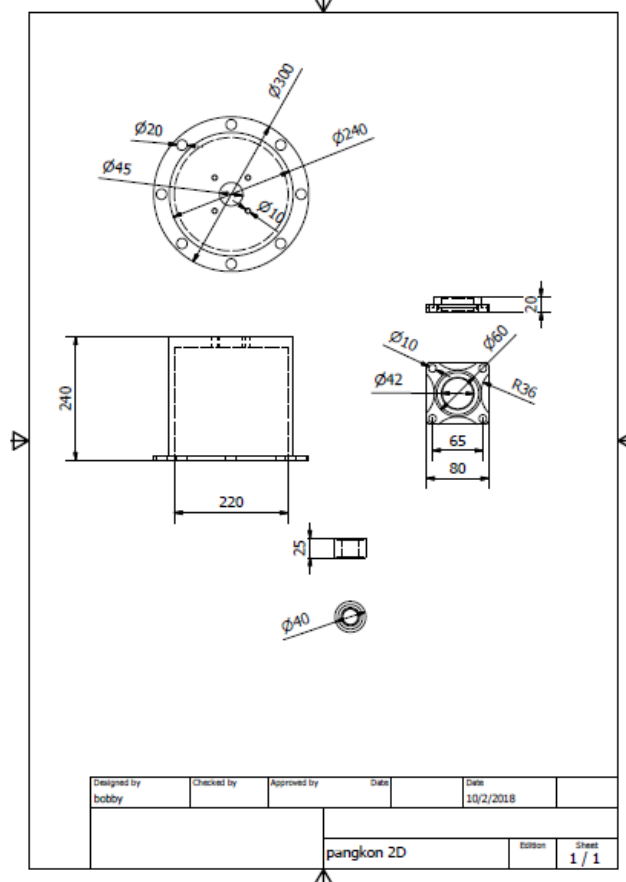
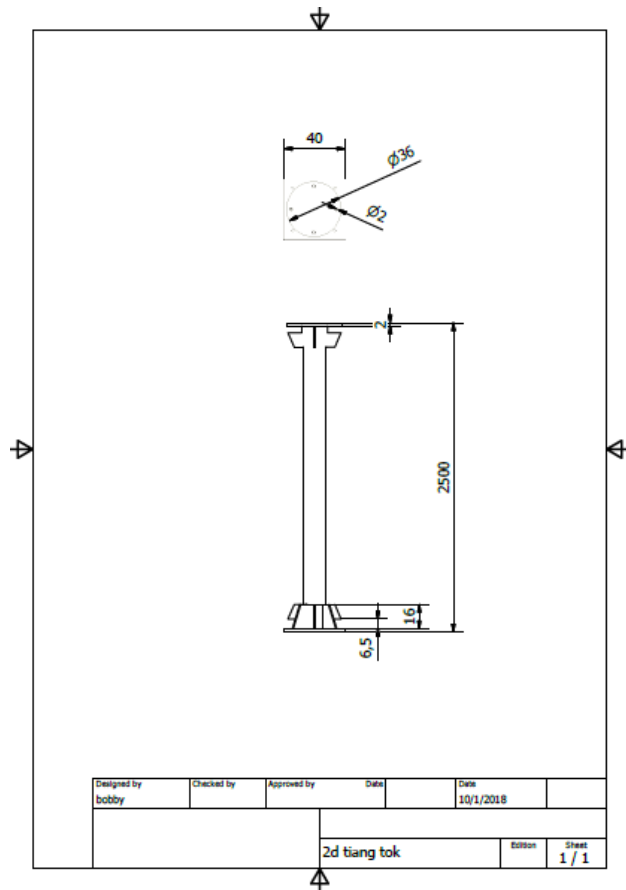
Berdasarkan hasil penelitian turbin angin darrieus skala laboratorium dengan menggunakan sudu NACA 4418 dengan variasi *blade pitch angle* didapatkan *Coefficient of Power* (CP) optimum yang dihasilkan oleh turbin adalah 0,20 terdapat pada *blade pitch angle* 10^0 dengan kecepatan variabel pengujian sebesar 5,42 m/s, pada putaran turbin 198 rpm, dan daya mekanik yang dihasilkan 8,5 Watt pada kecepatan angin 5,42 m/s. *Tip Speed Rasio* (TSR) yang tertinggi sebesar 1,7 terdapat pada *blade pitch angle* 10^0 dengan putaran turbin sebesar 321 rpm dan kecepatan angin 5,42 m/s, pada *blade pitch angle* 20^0 dengan putaran turbin 381 kecepatan angin 6,4 m/s. *Coefisien of Torque* (CT) Turbin tertinggi yang bekerja pada turbin angin berbahan sudu *Fiberglass* NACA 4418 adalah sebesar 0,09 pada *blade pitch angle* 0^0 , kecepatan angin 5,42 m/s dengan daya mekanik yang dihasilkan 5,3 Watt dan putaran turbin 101,8 rpm.

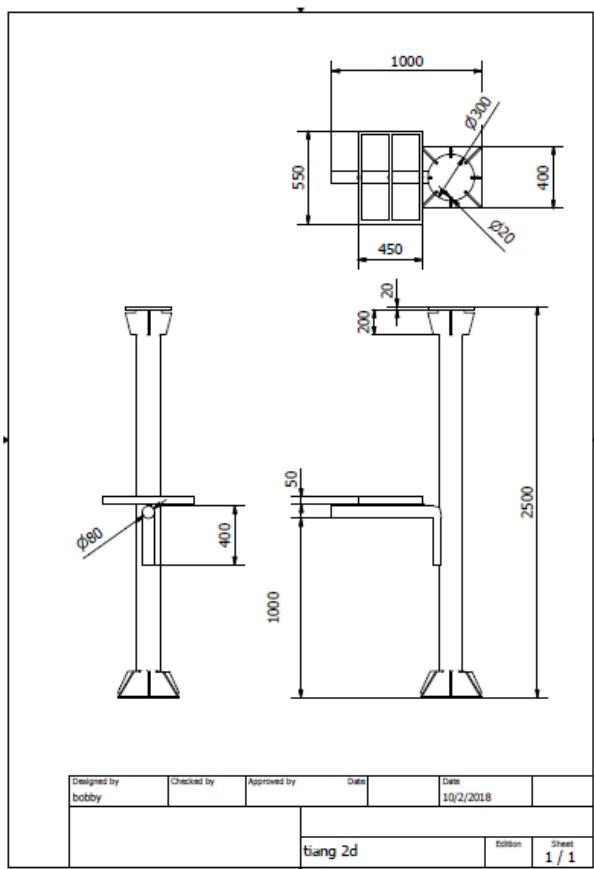
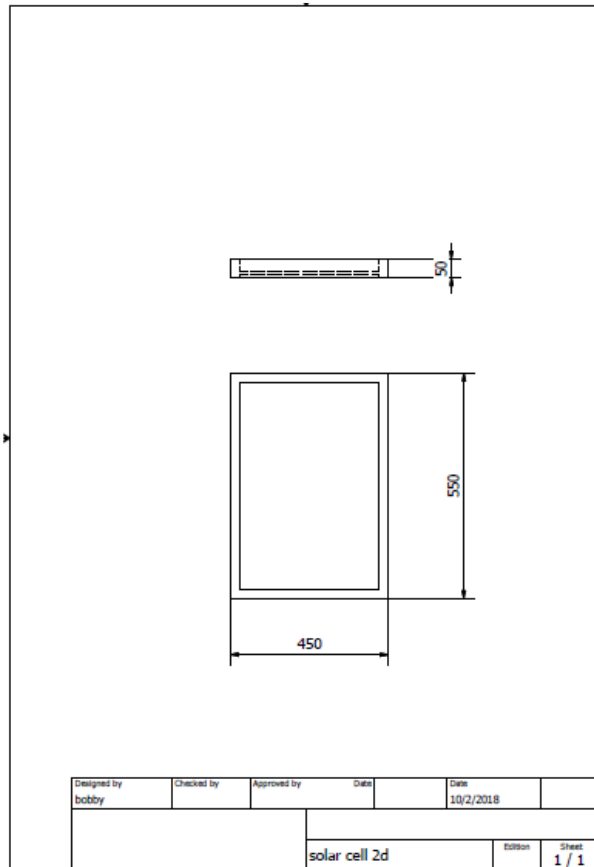
Dari analisis kecepatan angin di pesisir pantai dan sudut pitch yang digunakan pada turbin angin darrieus NACA airfoil dengan *Coefficient of Power*

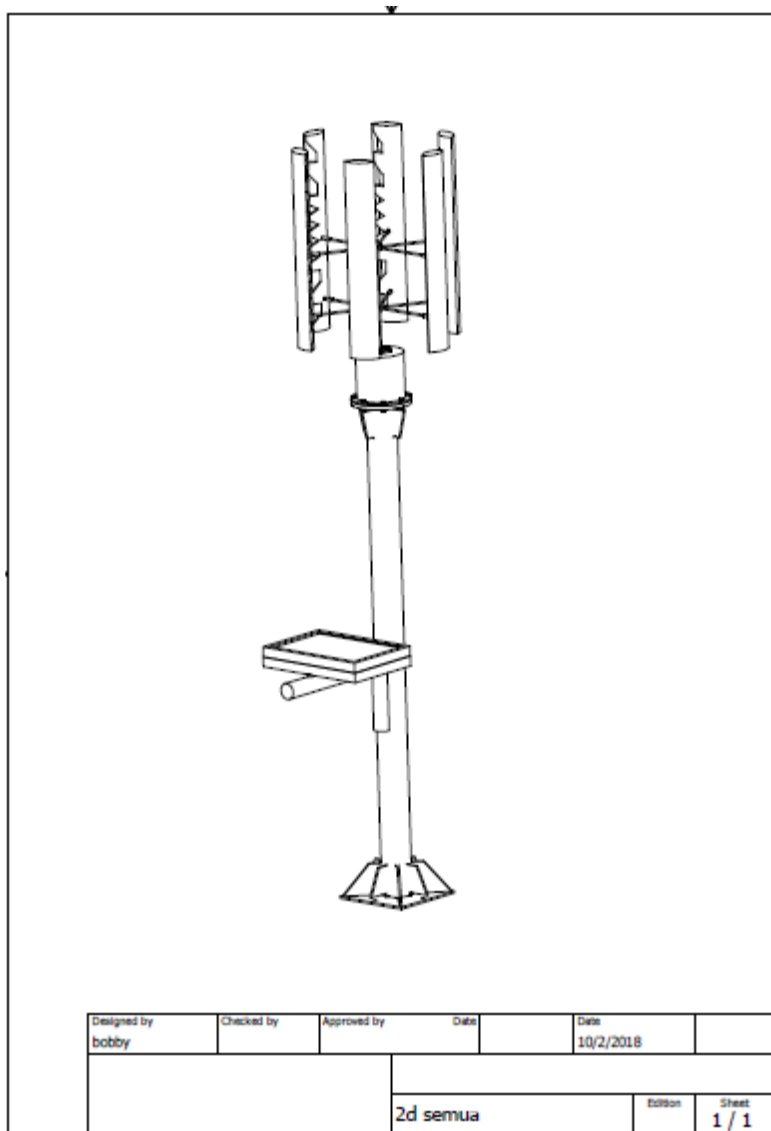
(CP), *Tip Speed Ratio* (TSR) dan *Coefisien of Torque* (CT), maka di desain model turbin darrieus NACA airfoil menggunakan sudut pitch 10^0 dan 20^0 dan jumlah blade 4 blade dan 6 blade.

b. Desain Model dan ukuran turbin darrieus NACA airfoil.









Gambar 4.2 Desain turbin angin NACA Darrieus Airfoil

c. Hasil pengujian turbin angin darrieus NACA airfoil di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur.

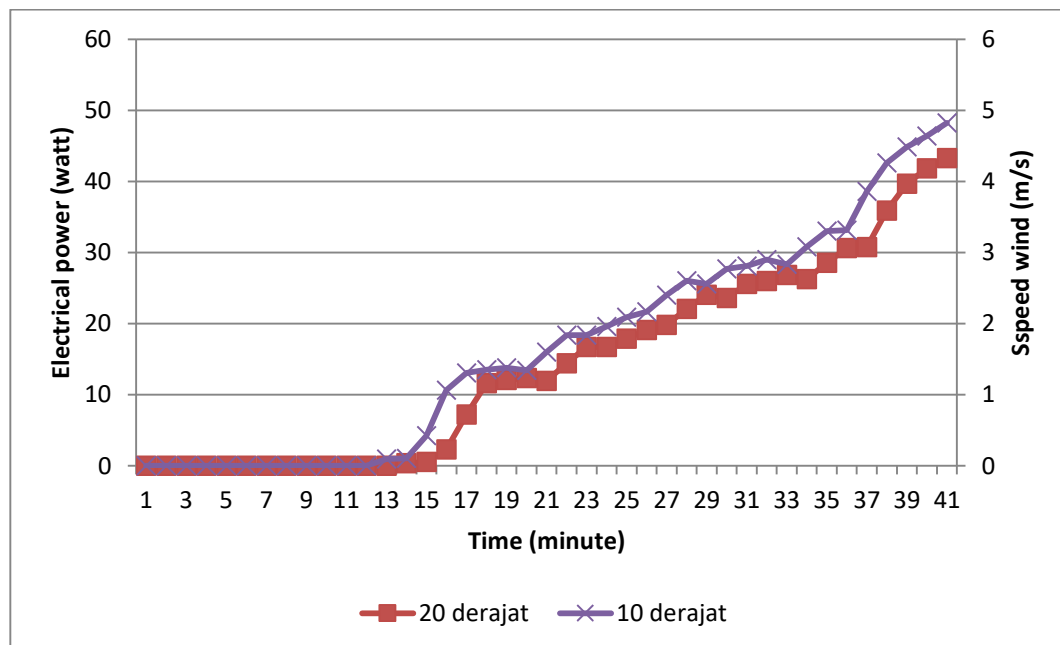
Pengujian turbin angin darrieus model NACA airfoil dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0 , jumlah blade 4 dan 6 blade, spesifikasi dimensi diameter blade turbin 1000 mm, tinggi blade turbin 1200 mm, bahan blade plat galvanis tebal 0,05 mm, rasio gear transmisi yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik 1:20, Pemasangan turbin menghadap ke pantai dengan tinggi 5000 meter, generator AC 3 fase , 0-120 V 500 watt

Performa kinerja turbin angin dengan menggunakan 6 blad, dengan sudut

pitch 10^0 dan 20^0 , seperti terlihat pada gambar 4.3 menunjukkan sudut pitch 10^0 menunjukkan performa dengan energi listrik maksimal yang dihasilkan 48,24 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan energi listrik sudut pitch 20^0 menghasilkan energi listrik 43,29 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s.

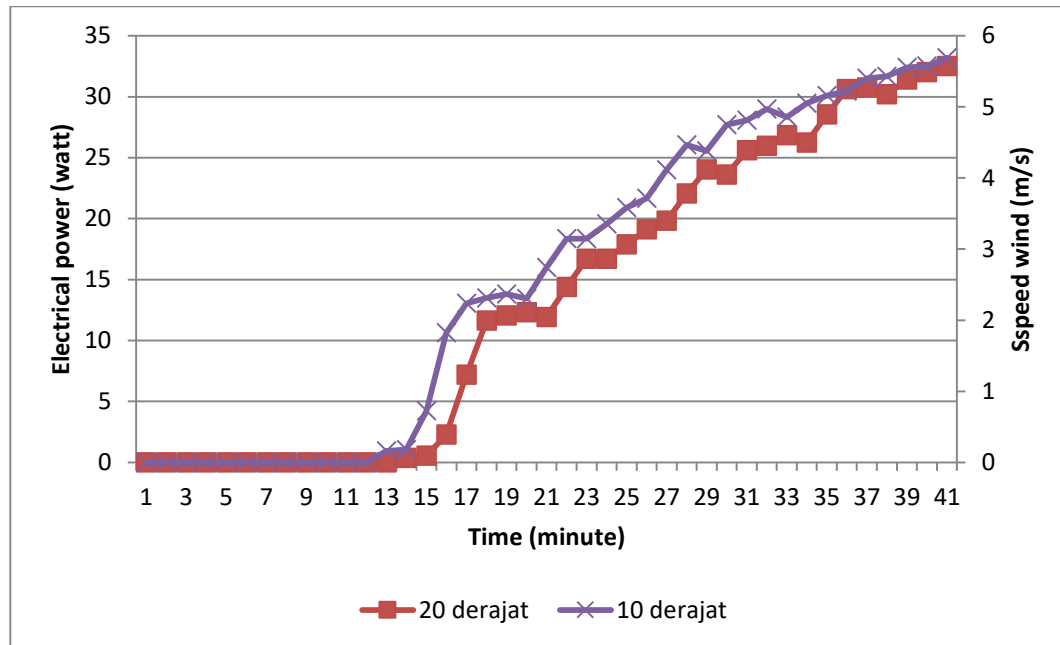
Kecepatan angin semakin tinggi menyebabkan penurunan kinerja turbin angin, hal ini diduga semakin tinggi kecepatan angin maka putaran turbin juga semakin tinggi sehingga turbin angin seakan-akan menjadi silinder yang menghambat sebagian udara untuk masuk kesisi dalam dari turbin angin sehingga laju aliran massa udara yang berguna untuk menggerakkan turbin angin berkurang yang pada akhirnya daya yang dapat ekstrak oleh turbin angin juga berkurang.

Energi listrik yang dihasilkan Genertor turbin mengalami peningkatan, hal ini disebabkan daya yang dihasilkan turbin dan koefisien kinerja turbin sudut pitch hingga sudut 10^0 - 20^0 , hal disebabkan pada sudut ini nilai koefisien lift dari bilah profile NACA airfoil bertambah besar namun jika sudut pitch diperbesar lagi maka akan timbul fenomena dynamic stall (Ragheb, 2013) karena aliran terseparasi di ujung bilah.



Gambar 4.3 Energi listrik turbin angin darrieus NACA airfoil 6 blade dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0

Sedangkan performa kinerja turbin angin dengan menggunakan 4 blad, dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0 , seperti terlihat pada gambar 4.4 menunjukkan energi listrik maksimal sebesar 33,2 watt sudut pitch 10^0 pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan energi listrik sudut pitch 20^0 menghasilkan energi listrik 32,5 watt pada kecepatan angin 5,6 m/s.



Gambar 4.4 Energi listrik turbin angin darrieus NACA airfoil 4 blade dengan sudut pitch 10^0 dan 20^0

Penggunaan turbin angin darrieus NACA airfoil untuk pembangkit listrik *hybrid* di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur sangat cocok, hal ini dikarenakan turbin angin darries NACA airfoil mempunyai kinerja yang baik, tidak menimbulkan suara berisik dan ruang pemasangan turbin angin yang tidak begitu luas. Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh turbin NACA airfoil besar, sehingga dapat memutar daya generator listrik yang besar. Turbin mulai berputar dan menghasilkan energi pada kecepatan angin 2,5 m/s dan putaran turbin terus mengalami kenaikan seiring peningkatan kecepatan angin, pada saat kecepatan angin mengalami penurunan turbin terus berputar pada kecepatan 2 m/s karena masih memiliki gaya momen inersia dan berhenti berputar saat kecepatan angin kurang dari 2 m/s.

Berdasarkan penggunaan sudu NACA airfoil jumlah blad 6 blade dengan variasi *blade pitch angle* dan variasi kecepatan angin di pesisir pantai selatan Jawa Timur, didapatkan *Coefficient of Power* (CP) optimum turbin 0,26 dengan sudut *pitch* 10^0 dengan kecepatan variabel pengujian sebesar 6 m/s, pada putaran poros rotor rpm, dan daya yang dihasilkan generator listrik 48,24 Watt. Sedangkan *Coefficient of Power* (CP) optimum yang dihasilkan oleh turbin 0,24 dengan sudut *pitch* 20^0 pada kecepatan angin sebesar 5,5 m/s. *Tip Speed Ratio* (TSR) turbin angin dengan 6 blade tertinggi sebesar 1,7 terdapat pada sudut *pitch* 10^0 dengan putaran turbin sebesar 120 rpm dan kecepatan angin 5,5 m/s. *Tip Speed Ratio* (TSR) pada sudut *pitch* 20^0 sebesar 1,2 dengan putaran turbin 90 rpm kecepatan angin 5,8 m/s.

4.2 Produk hasil penelitian

Produk hasil penelitian adalah sistem pembangkit listrik hybrid energi turbin angin NACA airfoil yang digunakan untuk sistem penerangan di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur.



Gambar 4.5 Produk hasil Penelitian

BAB 5

RENCANA TAHAP BERIKUTNYA

5.1 Rencana Kegiatan Selanjutnya

Rencana penelitian tahap berikutnya, setelah melaksanakan kegiatan penelitian tentang konversi energi gelombang dengan menggunakan *floating drum* untuk mengkonversi energi gelombang menjadi listrik dan pembuatan pembangkit listrik dengan menggunakan turbin angin darrieus NACA airfoil dihasilkan beberapa hasil penelitian yang dapat menunjang dan melengkapi sistem pembangkit listrik *hybrid* energi terbarukan di pesisir pantai yang menggunakan energi terbarukan.

Hasil penelitian yang sudah di dapat, yaitu; model konversi gelombang dengan model *floating drum*, model turbin angin darrieus NACA airfoil yang cocok digunakan di pesisir pantai dengan rentang kecepatan angin rata-rata 2-6 m/s. Selain itu untuk meningkatkan performa model sistem pembangkit listrik *hybrid* energi terbarukan (energi gelombang, angin dan matahari) di pesisir pantai masih diperlukan kegiatan penelitian lanjutan untuk melengkapi model sistem pembangkit listrik yang dikembangkan dengan menggunakan sistem pembangkit listrik solar Pv.

Sedangkan rencana kegiatan penelitian berikutnya adalah membuat komponen, mengasembling dan menguji sistem pembangkit solar PV yang akan digunakan untuk pembangkit listrik pendukung pada sistem pembangkit listrik *hybrid* di pesisir pantai. Tahapan rencana berikutnya terdiri dari;

1. Menganalisis potensi energi matahari di pesisir pantai selatan Jawa Timur yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan solar PV.
2. Mendesain model dan kapasitas pembangkit listrik solar PV yang digunakan di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur.
3. Membuat komponen-komponen pembangkit listrik solar PV yang digunakan di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur.
4. Melakukan pengambilan data sistem pembangkit listrik solar PV yang digunakan di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur.

5. Menganalisis efisiensi dan performa dari pembangkit listrik solar PV yang digunakan di pesisir pantai Tamban Kabupaten Malang Jawa Timur.
6. Memperbaiki artikel jurnal ilmiah sampai publikasi di jurnal internasional
7. Mendaftarkan hak paten sederhana dengan invensi: model sistem konversi energi ombak dengan model floating drum, dan model pembangkit listrik hybrid turbin darrius Naca airfoil dan solar PV.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

Simpulan hasil penelitian pengembangan model pembangkit listrik hybrid dengan menggunakan turbin angin darrieus NACA airfoil, terdiri dari beberapa simpulan, yaitu;

1. Potensi energi angin di pesisir pantai yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin angin darrieus NACA airfoil dengan kecepatan angin 2-6 m/s. Penggunaan turbin angin darrieus NACA airfoil untuk pembangkit listrik dipesisir pantai, diantaranya turbin angin darrieus NACA airfoil mempunyai torsi dan momen putar yang besar sehingga dapat memutar daya generator yang besar, kecepatan rata-rata angin dipesisir 2 - 6 m/s dengan kecepatan rata-rata diatas 2,5 m/s cocok digunakan untuk memutar blade turbin angin model darrieus airfoil untuk menghasilkan torsi putar yang besar dan dihasilkan daya listrik yang optimal.
2. Model turbin vertikal darrieus NACA airfoil mempunyai torsi yang sangat besar jika sudah berputar, dengan kecepatan angin 2 - 6 m/s. Performa kinerja turbin angin dengan menggunakan 6 blad dengan sudut pitch 10^0 menunjukkan performa yang baik dengan energi listrik maksimal yang dihasilkan 48,24 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan energi listrik sudut pitch 20^0 menghasilkan energi listrik 43,29 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s.
3. Performa kinerja turbin angin NACA airfoil dengan menggunakan 4 blad, dengan sudut pitch 10^0 menghasilkan daya sebesar 33,2 watt pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan pada sudut pitch 20^0 menghasilkan energi listrik 32,5 watt pada kecepatan angin 5,6 m/s.
4. Torsi yang dihasilkan oleh turbin NACA airfoil besar, sehingga dapat memutar daya generator listrik yang besar. Turbin mulai berputar dan menghasilkan energi pada kecepatan angin 2,5 m/s dan putaran turbin terus mengalami kenaikan seiring peningkatan kecepatan angin, pada saat

kecepatan angin mengalami penurunan turbin terus berputar pada kecepatan 2 m/s karena masih memiliki gaya momen inersia dan berhenti berputar saat kecepatan angin kurang dari 2 m/s.

5. Model konversi energi angin dipesisir pantai dengan pemanfaatan turbin vertikal darrieus NACA airfoil mampu menghasilkan energi listrik dalam rentang 32,5 - 48,24 watt.s, sehingga untuk memperbesa daya yang dihasilkan dengan membesar skala dimensi tubin angin Darrieus NACA airfoil.

6.2 Saran

Untuk meningkatkan model kontruksi yang efektif dan efisien dalam sistem wind turbin darrieus airfoil dengan pemasangan ketinggian wind turbin minimal 10 meter.

KENDALA DAN HAMBATAN

Hambat penelitian tentang sistem konversi energi angin mempunyai beberapa kendala dan hambatan diataranta.

1. Kondisi kecepatan angin yang tidak stabil.
2. Kondisi alam yang berubah-ubah, seperti hujan dan kecepatan angin menggagu saat kegiatan penelitian di pesisir pantai.
3. Kondisi lingkungan dipesisir pantai mempunyai tingkat keasaman udara yang tinggi yang disebabkan pengupan air laut mempercepat korosi komponen-komponen instrumen penelitian yang digunakan.

REFERENSI

- Astariz S, Iglesias G. The economics of wave energy: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;45:397–405.
- Budi Murdani, 2008, “Analisa Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Sistem Oscillating Water Column di Pantai Baron Yogyakarta.” Jakarta, 2008.
- Beri H, and Yao Y. 2011. *Effect of Chamber Airfoil on Self Starting of Vertical Axis Wind Turbine. Journal of Environment Science and Technology*. Vol. 4 (3), pp. 302-312
- Cargo CJ, Hillis AJ, Plummer AR. Optimisation and control of a hydraulic power take-off unit for a wave energy converter in irregular waves. *Proc IMechE Part A: J Power Energy* 2014;228(4):462–79.
- Choi KS, Yang DS, Park SY, Cho BH. Design and performance test of hydraulic PTO for wave energy converter. *Int J Precis Eng Manuf* 2012;13(5):795–801.
- Daniil Yurchenko dan Panagiotis Alevras, (2012), Stochastic dynamics of a parametrically base excited rotating Pendulum. *Procedia IUTAM* 6 (2013) 160 – 168 602-98569-1-0 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Erwandi. 2006. Sumber Energi Arus: Alternatif Pengganti BBM, Ramah Lingkungan, dan Terbarukan”. Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, BPP Teknologi.
- Elwood D, Yim S, Prudell J, Stillinger C, Jouanne AV, Brekken T, et al. Design, construction and ocean testing of a taut-moored dual-body wave energy converter with a linear generator power take-off. *Renew Energy* 2010;35:348–54.
- Falcão AFO. Modelling and control of oscillating-body wave energy converters with hydraulic power take-off and gas accumulator. *Ocean Eng* 2007;34:2021–32.
- Falcão AFO. Phase control through load control of oscillating-body wave energy converters with hydraulic PTO system. *Ocean Eng* 2008;35:358–66.
- Gupta R, Roy S, and Biswas A. 2010. *Computational Fluid Dynamics of Twisted Airfoil Shaped Two Bladed H-Darrieus Rotor Made From Fibreglass Reinforced Plastic (FRP). International Journal of Energy and Environment*. Vol. 1. Pp. 953-968
- Hermawan. 2010. *Unjukkerja Model Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Posisi Sudut Turbin*. SNTTM ke-9 Palembang.
- Hong Y, Waters R, Bostrom C, Eriksson M, Engstrom J, Leijon M. Review on electrical control strategies for wave energy converting systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;31:329–42.
- Josset C, Babarit A, Clement AH. A wave-to-wire model of the SEAREV wave energy converter. *Proc. IMechE part M: J. Eng Marit Environ* 2007;221:81–93.
- Kelly JF, Wright WMD, Sheng WA, O'Sullivan K. Implementation and verification of a wave-to-wire model of an oscillating water column with impulse turbine. *IEEE Trans Sust Egy* 2015;7(2):546–53.

- Lasa J, Antolin JC, Estensoro P, Santos M, Ricci P. Design, construction and testing of a hydraulic power take-off for wave energy converters. *Energies* 2012;5:2030–52.
- Ma Z. Study on hydrodynamic performance of oscillating floater buoy wave energy converter. Doctoral Thesis: Ocean University of China; 2013 [In Chinese].
- Mandiharta, A. 2007. Kajian Potensi Pengembangan Energi Pasang Surut Sebagai Energi Alternatif. Bukit Jimbaran : Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana
- Melo AB, Huckerby J. 2011 annual report. The executive committee of ocean energy systems; 2011.
- National Ocean Technology Center (NOTC). Technology progress of Chinese marine energy. 1st ed. Beijing: Ocean Press; 2014 [In Chinese].
- Nanang H, Yuni A, 2008, “Analisa Potensi Energi Arus Laut sebagai Pembangkit Listrik di Dunia dan di Indonesia”, Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Nie ZX, Xiao X, McMahon R, Clifton P, Wu Y, Shao SY. Emulation and control methods for direct drive linear wave energy converters. *IEEE Trans Indust Info* 2013;9(2):790–8.
- HE Hongzhou, LI Hui, (2014) Numerical simulation of the pendulum system in a buoy pendulum wave energy converter. *Energy Procedia* 61 (2014) 2030 – 2033.
- Pizer DZ, Retzler C, Henderson RM, Cowieson FL, Shaw MG, Dickens B, et al. Pelamis WEC—recent advances in the numerical and experimental modelling programme. *Proceedings of 6th European wave tidal energy conference Glasgow, UK; 2005. p. 373–8.*
- Polinder H, Damen MEC, Gardner F. Design, modeling and test results of the awsp linear generator. *Eur Tran Electr Power* 2005;15:245–56.
- Qu N. Study on hydrodynamic performance of oscillating buoy WEC considering power take-off system. Master Thesis: Ocean University of China; 2015 [In Chinese].
- Sheng W, Alcorn R, Lewis A. On improving wave energy conversion, part I: Optimal and control technologies. *Renew Energy* 2014;75:922–34.
- Sheng W, Alcorn R, Lewis A. On improving wave energy conversion, part II: Development of latching control technologies. *Renew Energy* 2015;75:935–44.
- Soepardjo, A. H. 2005. Potensi dan Teknologi Energi Samudera Dalam Eksplorasi Sumber daya Budaya Maritim. Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP)-Pusat Penelitian Kemasyarakatan dan Budaya, Universitas Indonesia, Jakarta
- Tri Alfansuri, Efrita Arfa Zuliari. Kajian Potensi Tenaga Gelombang Laut Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Di Perairan Malang Selatan. 2014. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan Ii 2014 Isbn : 978-*

Lampiran 1. Makalah proseding



PAPER ACCEPTANCE NOTIFICATION

Number : 045-2/X/ICOMERA2018/LoA

Date : 2 October 2018

First Author : Subuh Isnur Haryuda
Email : subuhisnur@unesa.ac.id
Affiliation : Department of Mechanical Engineering, Universitas Negeri Surabaya
Co-authors : I Wayan Susila, Indra Herlamba Siregar, Aris Ansoni
Paper Title : Power Control of Grid-Connected Photovoltaic-Wind Turbine-Buoy Conversion Energy Wave Hybrid System
Paper ID : ICOMERA_2018_paper_045

Dear Sir/Madam/Dr./Prof.,

We are pleased to inform you that, after a careful double-blind peer-reviewing process, your manuscript is accepted for oral presentation at the 1st International Conference on Mechanical Engineering Research and Application 2018 (ICOMERA 2018) to be held from 23 - 25th October 2018 in Malang, Indonesia.

To be eligible to publish on IOP Conference Series (Scopus Indexed), please submit your full paper using ICOMERA 2018 paper template (<http://icomera.teknik.ub.ac.id/template/>) and make revision as advised by our reviewer.

Also, selected papers will be published in International Journal of Integrated Engineering (IJIE) – UTHM (Scopus Indexed) which is subjected to terms and conditions stipulated by IJIE editorial board. The information regarding the publication in IJIE will be informed in separate letter.

After receiving this Letter of Acceptance (LoA), you need to:

1. Submit your full paper to EasyChair by visiting our website (<http://icomera.teknik.ub.ac.id/registration-process/>).
2. Do the payment of registration fee via bank transfer (<http://icomera.teknik.ub.ac.id/registration/>) as directed in the email.
3. Send the payment confirmation by e-mail to icomera.ub@gmail.com and icomera@ub.ac.id

Please complete the registration steps above by 19 October 2018 as the latest.

Please note that Presenter MUST be present during presentation session. Otherwise, the paper will not be published.

Should you have any questions concerning registration, conference program, and paper publication, please do not hesitate to contact us by e-mail to icomera.ub@gmail.com and icomera@ub.ac.id. For the most updated information of the conference, kindly refer to the official conference website at <http://icomera.teknik.ub.ac.id>

Thank you,

Yours sincerely,

Agung Sugeng Widodo, ST., MT., PhD.
Chairman of ICOMERA 2018

Power Control of Grid-Connected Photovoltaic-Wind Turbine-Bouy Conversion Energy Wave Hybrid System

¹Subuh Isnur Haryuda *, ²I Wayan Susila, ³Indra Herlamba Siregar, ⁴Aris Ansori

^{1,2,3}Mechanical Engineering Department, Universitas Negeri Suarabaya, Indonesia.

⁴Electrical Department, Universitas Negeri Suarabaya, Indonesia.

¹subuhisnur@unesa.ac.id, ²wayansusila@unesa.ac.id, ³indrasiregar@unesa.ac.id, ⁴arisansori@unesa.ac.id

Abstract

Problems in the provision of electrical energy in the coastal areas, such as electricity installation networks do not exist and the cost of making the system. This paper presents the results of design, optimization, and control of hybrid energy system of wave energy and wind energy and solar power. The ultimate goal is to design clean energy systems to meet the demand for electrical energy on the coast. The actual power system results from two renewable power systems: (1) Grid solar power system: Solar PV / wave energy / battery / inverter system; and (2) wind turbine / wave energy / battery / inverter system. The results show that Solar PV power systems / wave energy / battery / inverter systems offer better performance. The total energy generated by the solar power system can meet the AC load for the electricity needs of the household scale with almost no power shortage. The recommended system for coastal homes is economically and environmentally friendly with excess power (0.10%) and zero noise level.

Keywords— control, hybrid, solar PV, wind turbine, wave energy

I. INTRODUCTION

Global energy needs have increased due to population growth, housing sector growth, industrial sector. The growth of world energy consumption, such as coal, natural gas and liquid fuels reached 78% of total consumption in 2040. [1]. The use of coal energy, natural gas, liquid fuels to fuel power plants used to supply electricity needs. Whereas in 2017 coal energy consumption (57.22%), natural gas (24.82%), liquid fuel (5.81%) and new and renewable energy (EBT) (12.5%) for generating fuel electricity [2]. The use of fossil fuels as a power plant increases CO₂ production which has an impact on global warming and environmental pollution [3]. Solution to reduce the use of fossil fuels by using renewable energy sources for energy generation in remote areas or coastal coastal areas. Meanwhile, fulfillment of the need for electricity of around 1.2 billion people is still a problem, especially those living in remote areas, so pushing the fulfillment of electricity in remote areas continues to be driven by national or international institutions [4]. Indonesia is an archipelagic country that has a long coastline of 99,000 Km has the potential of renewable energy that has not been used optimally for energy sources of electricity generation in remote areas or in coastal areas. Meanwhile, East Java Province has no less than 79 small islands that are concentrated in the Madura Islands and a long coastline that covers the southern coast and north coast. The latest new energy potential (EBT) on the south coast can be used as an energy source for electricity generation.

The potential of renewable energy on the south coast of east Java stretches throughout the Pacitan, Tulungagung, Trenggalek, Malang, Lumajang, Jember and Bayuwangi regions. On average the latest new energy (EBT) on the coast of Malang Regency, such as wind energy with a speed of 2-6 m/s can be used as a driver of wind turbines, solar energy with an average of 4.8 Kwh/m² and wave energy with wave height around 1.5 to 2 meter that can be converted into electrical energy.

The implementation of hybrid power generation technology on the coast in Malang district as a source of electrical energy needs further research. Some obstacles to coastal renewable energy power generation, such as the continuous supply of electrical energy caused by weather and climate conditions, such as photovoltaic power plants can generate electricity during the day and the level of electricity production depends on changes in weather and climate. Meanwhile, wind turbine power plants depend on wind speed.

applications for solar PV hybrid power plants, wind energy and wave energy in the coastal waters of the tamban in malang district are expected to improve the performance of renewable energy power generation systems. While the amount of electrical energy produced can be calculated from the amount of energy of each system produced.

1.1 wave energy power generation

The amount of power for wave energy power plants cannot be determined with certainty. Meanwhile, the calculation of wave energy power by calculating the wave period. Calculation of wave periods is calculated by Kim Nielsen's equation.

$$T = 3,55 \times \sqrt{h} \quad (1)$$

with:

T = wave period (sec)

h = wave height (m)

wavelength and wave velocity can be calculated by David Ross's equation.

$$\lambda = 5,12 T^2 \quad (2)$$

with:

λ = wave length (m)

the wave velocity is calculated by the equation.

$$V = \frac{\lambda}{T} \quad (3)$$

With, v = wave speed (m/sec)

wave amplitude can be calculated by the equation

$$a = \frac{h}{2} \quad (4)$$

With, h = wave height (m)

wave kinetic energy can be calculated by the equation.

$$PE = \frac{1}{4} w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \text{ (joule)} \quad (5)$$

With,

a = wave amplitude (m)

w = wave width (m)

ρ = density of sea water (kg/m³)

g = earth's gravity (m/s²)

meanwhile, the electrical power generated from wave energy can be calculated by the equation.

$$P_w = \frac{PE}{T} \text{ (Watt)} \quad (6)$$

While the power that can be transferred from wave energy can be calculated by the equation:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e h_e \cong 0,5 T_e h_e \text{ (KW/m)} \quad (7)$$

With,

ρ = density of sea water (kg/m³)

g = earth's gravity (m/s²)

T_e = wave period (sec)

h_e = wave height (m)

The energy calculated is in the direction of wave motion with the angle α between the incoming wave and its direction, the density of wave energy can be calculated by the equation:

$$P_{\alpha} = P \cos (\alpha) \quad (8)$$

1.2 solar PV power plant

Electrical energy generated from solar energy conversion with solar PV can be calculated equation;

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \quad (9)$$

With,

P_{out} = power of photovoltaic cells (watts)

V_{oc} = voltage open circuit (volts)

I_{sc} = current flowing (ampere)

Solar PV efficiency is a ratio of solar energy that can be converted into electrical energy by photovoltaic cells. The amount of solar PV input energy can be calculated by measuring the amount of sunlight intensity with the solarmeter.

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{solar}} = \frac{FF V_{oc} I_{Sc}}{P_{solar}} \quad (10)$$

With, FF = fill factor

1.3 wind turbine power plants

The principle of the conversion of wind energy to produce electricity in the power generation system is the kinetic energy of the wind to drive a wind turbine. The amount of kinetic energy (Ek) produced is determined by the velocity of the wind flow. Kinetic energy (Ek) wind can be calculated by the equation.

$$Ek = \frac{1}{2} m u_0^2 \quad (11)$$

With,

m = mass of flowing wind (kg)

u_0 = wind speed (m / s)

Wind kinetic energy extracted by wind turbine blades is converted into mechanical energy. wind power that can be extracted by wind turbines from the Betz modeling, wind velocity u_0 and density ρ with sweeping area of the A_1 turbine rotor, can be calculated by the equation.

$$P_T = \frac{1}{2} C_p A_1 \rho u_0^3 \quad (12)$$

Wind Power is the potential energy contained in the wind whose magnitude is the result of measurements of wind speed and specific data from the blades can be calculated by the equation.

$$P_A = 0,5 \rho U_A^3 S \quad (13)$$

with,

U_A = wind speed kecepatan angin (m/det)

U_A = wind speed kecepatan angin (m/det)

ρ = air density (kg/m³)

S = Span Area (m²)

Turbine power is energy that can be absorbed by a turbine from the wind which is the result of the calculation of the measured variables such as load, height and time. turbine power can be calculated by the equation.

$$P_T = T \cdot \omega \quad (14)$$

With,

P_T = power (watt)

T = Braking torque (N.m)

ω = Turbine rotation (rps)

Turbine efficiency (C_p) is the ratio of power that can be absorbed by a turbine with wind power.

$$C_p = \frac{P_T}{P_A} \quad (15)$$

Turbine density (σ) is the ratio of the turbine blade area to the turbine sweep area.

$$\sigma = \frac{N \cdot c}{D} \quad (16)$$

With,

N = Number of blades

c = chord length (m)

D = Diameter of the blade holder arm

Tip speed ratio (λ) is the ratio of the speed of the rotor tip to the free wind speed. tip speed ratio will affect the rotational speed of the rotor

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \quad (17)$$

The electrical power generated by the turbine obtained can be calculated by the equation.

$$P_e = \eta_g \eta_T \frac{1}{2} C_{p, \max} \rho A_2 v_1^3 \quad (18)$$

1.4 Grid-tied solar PV-wind turbin-wave energy power system

A hybrid system model that combines solar energy sources, wind energy and wave energy. The hybrid electrical network model can use several network models, such as; 1) the generator and battery systems are installed in a separate location and connected to the AC bus before connecting to the grid (figure 1), 2). The hybrid system converts the AC to DC voltage on the generator which produces AC power (figure 2), and 3). Hybrid system with electrical system with separate connections (figure 3)

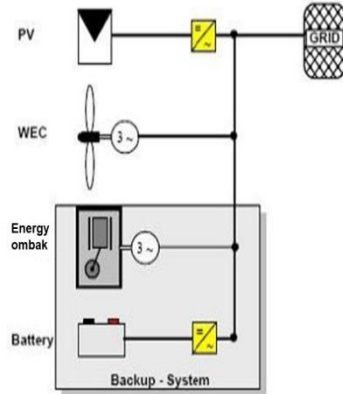


Fig. 1. The battery hybrid is installed in a location and connected to the AC bus before it is connected to the grid

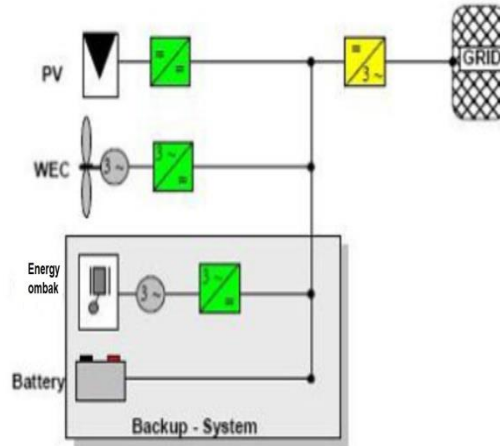


Fig. 2. Hybrid model with DC to AC voltage converter used to feed to the grid (AC)

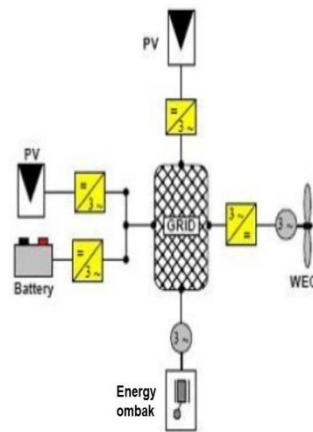


Fig. 3. Hybrid system with separate network connection between plants

This study aims to test hybrid systems of solar PV power generation, wind energy and wave energy with model 1) grid solar PV power system: Solar PV / wave energy / battery / inverter system; and (2) grid wind turbine system: wind turbine / wave energy / battery / inverter system. It should be noted that two DC-coupling sources can be realized to utilize several power supplies at the same time.

2. RESEARCH METHOD

We use experimental methods to determine the best way to assemble hybrid systems to improve the performance of solar PV power generation systems, wind turbines and wave energy, solar PV research instrument specifications for solar energy conversion of 100 Wp power capacity, wind turbines using H type wind turbines with the number of 6 blade blades to rotate the AC 3 phase 500 watt generator. Meanwhile, for wave energy conversion using a float model with a hydraulic system to rotate a 1 KW power 3 phase power generator.

The hybrid system model by combining power generation systems with AC power generated from wind turbines and wave conversion systems is converted into DC currents and fed to storage batteries, while channeling current to the grid in the form of AC electricity. The calculation of the electrical power produced by each generator by measuring the voltage and electric current produced, while the power that can be stored is done by measuring the battery capacity after filling the system

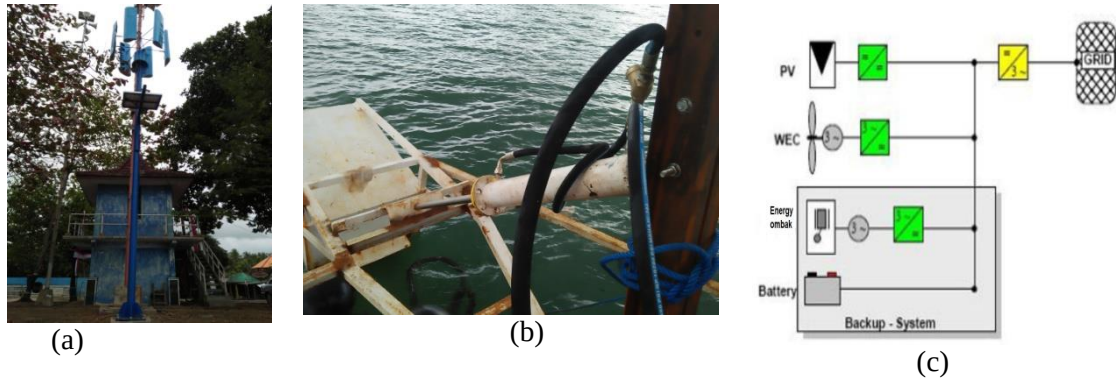


Fig. 4. Research instrument a) Solar PV-wind turbine system, b) Wave energy conversion system, (c) Hybrid electrical model

RESULTS AND ANALYSIS

The results of the measurement of the potential of solar energy, wind and wave energy in the coastal areas of Malang Regency indicate energy sources that can be used as a source of renewable energy electricity generation. The potential value of solar energy intensity is an average in the energy range ($100\text{--}822\text{ w/m}^2$) within 06.00-16.00, wind energy potential with wind speed range ($0.3\text{--}5.5\text{ m/s}$) within 06.00-19.00. while the potential for wave energy with a wave height ($0.40\text{--}1.5\text{ m}$).

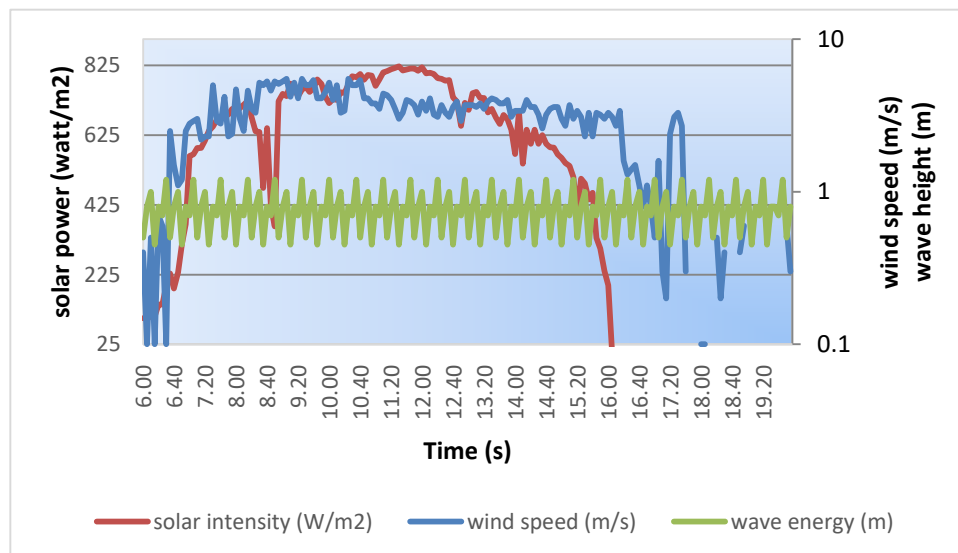


Fig. 5 Renewable energy potential in the coastal tamban

The level of stability and periodic range of energy, the source of wave energy has the same level of stability of energy. Meanwhile, solar and wind energy has very little energy stability and a short time span. Optimal use of solar energy from 06.00-16.00 with maximum energy for 3 hours at 822 w / m^2 at 11.00-13.00. Wind energy has a velocity range of $0.3\text{--}5.5\text{ m / s}$ which can rotate wind turbines well with good stability.

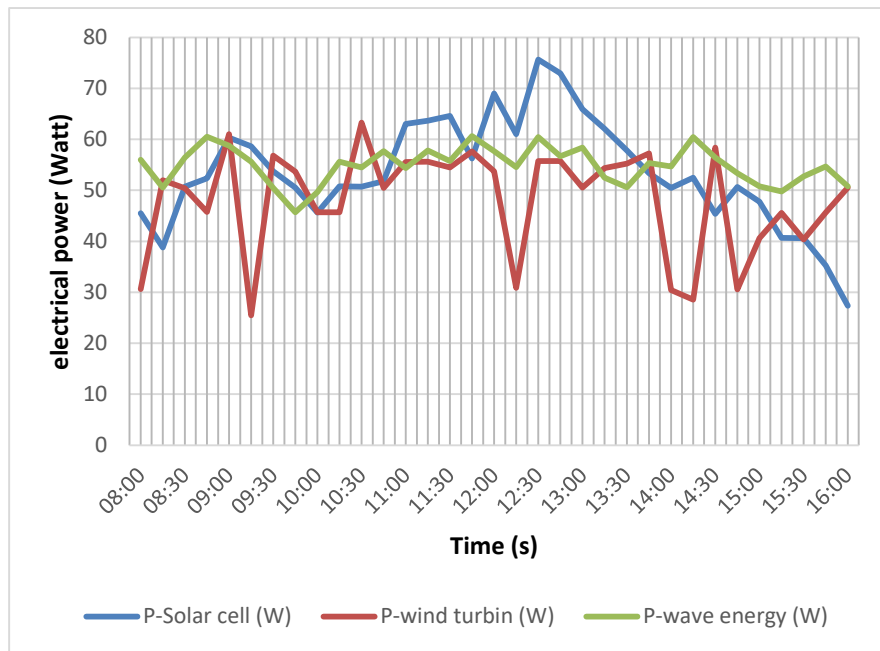


Fig. 6. Electricity produced by solar PV, wind turbines and wave energy

The conversion of solar energy, wind energy and wave energy in the coastal area of the Malang Regency basin have a fluctuating level of electrical energy production based on the supply of available energy sources. Solar PV systems have a more optimal level of electricity production than system wind turbines. The electrical energy produced by Solar PV power systems / wave energy / battery / invaders produces an average power of 3,574 KW, while the wind turbine power system / wave energy / battery / inverter system produces 3,397 KW of power. While the average electricity consumption is 3,217 KW. The model of conversion system of coastal renewable energy Solar PV power systems / wave energy / battery / inverter is more performance in the production of electricity compared to wind turbine / wave energy / battery / inverter with excess power (0.10%) and noise free. The system of Solar PV power systems / wave energy / battery / inverter economically, and performance can be recommended implemented as a power plant in coastal areas.

CONCLUSION

Hybrid power plants with renewable energy sources of solar energy, wind energy and wave energy in coastal areas of the Malang district can be utilized to supply the electricity needs of the coastal communities. Solar PV systems have a more optimal level of electricity production than system wind turbines. Meanwhile, the incorporation of wave energy hybrid systems in solar PV systems and wind turbines results in the stability of different electrical energy production. Solar PV power systems / wave energy / battery / inverter generate an average power of 3.574 KW, while the wind turbine / wave energy / battery / inverter system model produces 3,397 KW of power. Models of Solar PV power systems / wave energy / battery / inverter are more performance in the production of electrical energy compared to wind turbine / wave energy / battery / inverter systems with excess power (0.10%) and noise-free.

Acknowledgments

This research was supported by the national research incentive research program, funded by the Ministry of Research, Technology and Higher Education (No. 000005 / UN38.11-P / LT / 2018).

REFERENCES

- [1]. U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2018; Available602 from: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/world.cfm> (accessed 13.8.2018)

- [2].Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM); from:
<http://bisnis.com/amp/read/20180304/44/745790/pembangkit-listrik-bauran-batu-bara-57>
 (accessed 15.8.2018).
- [3]. Wu Z, Xia X. Optimal switching renewable energy system for demand side management.604
 Solar Energy 2015; 114: 278-288
- [4]. Tazvinga H, Xia X, Zhang J. Minimum cost solution of photovoltaic-diesel-battery hybrid608
 power systems for remote consumers. Solar Energy 2013; 96: 292-299.609
- [5] Hong Y, Lian R. Optimal sizing of hybrid wind/PV/diesel generation in a stand-alone power610
 system using Markov-based genetic algorithm. IEEE Transactions on Power Delivery 2012;611
 27(2):640-647

Implementation Of The Darrieus Type H Wind Turbine On The South Coast Of East Java

¹ Aris Ansori *, ² I Wayan Susila, ³ Indra Herlamba Siregar, ⁴ Subuh Isnur Haryuda

^{1,2,3} Mechanical Engineering Department, Universitas Negeri Suarabaya, Indonesia.

⁴ Electrical Department, Universitas Negeri Suarabaya, Indonesia.

¹arisansori@unesa.ac.id ²wayansusila@unesa.ac.id, ³indrasiregar@unesa.ac.id, ⁴subuhisnur@unesa.ac.id,

Abstract

Indonesia is an archipelago country that has a total of 17,504 islands, geographically Indonesia has the second longest coastline in the world. Geographical conditions raise problems for residents on remote islands or on the coast associated with providing energy to meet daily energy needs. one of electrical energy. The energy potential on the coast that can be converted into electrical energy is wind energy, with an average speed of 2-6 m/s. Utilization of wind turbines makes the solution to convert wind energy into electricity. Some models of wind turbines that have been used are horizontal wind turbines, while the application of vertical wind turbines is still rare on the coast. The use of vertical wind turbines on the coast needs to be carried out in terms of model and efficiency, so that optimal use on the coast. The purpose of this study is to analyze the wind energy potential on the coast and the application of the Darrieus type H wind turbine to convert wind energy into electricity. The research method is an experimental method, Darrieus type H wind turbine with blade 6 with a variation of angle of 10°, 15°, 20° and implements the coastal area to rotate the 3 phase AC generator to 300 watts of power. The results of the analysis show that the wind turbine starts rotating at a wind speed of 2 m/s by optimizing the installation angle of the blade 20° with an average of 800 watt.h of power produced.

Key words: implementation, wind turbine, Darrieus type H, coastal

1. INTRODUCTION

The increase in electricity demand in Indonesia reaches 8.3% per year. Increased electrical energy needs are caused by several factors, including; increase in population growth, economic growth and industrial sector, consumption patterns of the people. National electricity consumption in 2018 is projected at 905 KiloWatt hour (kWh) / capita. The increase in electricity consumption will increase to 1,147 kWh / capita in 2022 and continue to rise to 1,501 kWh / capita by the end of 2027 [1]. The increase in electricity consumption is not comparable with the supply of electrical energy provided by PLN. Some areas cannot be reached by PLN electricity supply because of the difficult geographical conditions for the installation of the PLN electricity network. The utilization of the potential of renewable energy sources in the area as a source of electricity generation is one solution. Some potential renewable energy can be used as a source of electricity generation is wind energy. The potential of wind energy on the coast with wind speeds of 2-6 m / s can be used for energy sources driving wind turbines.

Several studies have been conducted to investigate and improve the performance of electricity generation from various wind turbine models. While wind turbine research studies have focused on horizontal axis wind turbines (HAWTs) and vertical axis wind turbines (VAWTs) in open spaces with constants uninterrupted wind source [1-2]. The main focus of research has been into horizontal axis wind turbines (HAWTs), which have reached their maximum capability in terms of size and power output.

VAWT designs can be split into two main categories, lift types (Darrieus) and drag type (Savonius), based on which component of aerodynamic force is used as a means of propulsion [4]. Savonius VAWTs consist cup or bucket shaped blades which catch the wind and rotate the shaft [5]. Whereas Darrieus VAWTs consist of airfoil shaped blades, which are propelled as the wind flows over them by a means of lift, causing the shaft to rotate, driving the generator [4]. Darrieus wind turbines depend on wind speed only, according to their simple design, compact size, self-starting, easy installation and maintenance. Relatively independent of wind direction and speed [3]

1.1 Darrieus wind turbine

The principle of wind energy conversion is used to calculate the amount of kinetic energy produced. Wind energy is seen from the energy of wind flow velocity, kinetic energy calculation (E_k).

$$E_k = \frac{1}{2} m u_0^2$$

where: m = mass of flowing wind (kg)

u_0 = wind speed (m / s)

Kinetic energy of wind extracted by wind turbine blades to be converted into mechanical energy. Judging from the Betz modeling, wind speed u_0 and density ρ with the sweeping area of the turbine rotor, wind power that can be extracted by wind turbines are:

While the most decisive variables from the results research of wind turbine are wind speed factors, models wind turbine, material of wind turbine, blades number and generator power. Variable calculations in planning a wind turbine consist of; turbine power, dimensions of wind turbines, Tip Speed Ratio (λ), electrical power generated, shaft strength, shaft bearings and gear transmission systems.

1. Turbine

Power Turbine is the rate of energy that can be absorbed by the wind turbine which is the result of the calculation of measured variables such as load, altitude and time. The equations are as follows.

$$P_T = T \cdot \omega$$

where: P_T = power (watts)

T = Torque braking (Nm)

ω = turbine rotation (rps)

Wind power, is the rate of potential energy available by wind, the amount of which is the result of wind speed measurements and specific data from blades that follow the following equation:

$$P_A = 0,5 \rho U_A^3 S$$

where: ρ = mass of air type (kg / m³)

U_A = wind speed (m / sec)

S = Span Area (m²)

Turbine efficiency (C_p) is a power ratio that can be absorbed by a turbine with wind power which follows the following equation:

$$C_p = \frac{P_T}{P_A}$$

Tip speed Ratio (λ) is a comparison of the speed of a turbine blade with wind speed.

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{U_A}$$

where: ω = turbine rotational speed (rpm)

R = Length of the sleeve of the blade holder (m)

The density of the turbine (σ) is the ratio of the area of the turbine blade to the area of the turbine sweep.

$$\sigma = \frac{N \cdot c}{D}$$

where: N = Number of blades

c = Length of chord (m)

D = Diameter of arm holder

2. Turbine dimension

The dimensions of the turbine are determined by calculating the sweeping area of the angina turbine, with the dimensions of the span length (H) and radius (R) of the bland turbine, so that it can be calculated by the equation:

$$A = 2H \times 2R$$

2. RESEARCH METHOD

The research method of the turbine wind power plant was carried out in several stages to assess the potential application of the Darrieus wind turbine power plant in the coastal tamban of Malang district, (a) analyze the wind potential in the coastal tamban of Malang district which can be converted into electrical energy with the Darrieus wind turbine. b) designing the model and dimensions of the wind turbine, while the dimensions of the darrieus wind turbine; dimensions of 1 meter turbine diameter, 1.2 meter high turbine, gear rotation ratio (1:20), 3 phase AC 300 watt generator, variation of blade tilt mounting angle 10°, 15°, 20°. (c) installing a wind turbine from the coastal shore with a mast height of 5 meters. (d) establish an electrical control system. (e) install measurement on the wind turbine. (f) analyze the production of electrical energy by wind turbines with actual speed variations on the coastal tamban, east java district.



Figure 1. Research instrument

3. RESULTS AND ANALYSIS

The results of the measurement of wind energy potential on the tamban coast in Malang district, East Java province are influenced by climate and weather with a wind speed range of 1 - 5.5 m / s, while the average wind is 3-4 m / s most dominant in each minute.

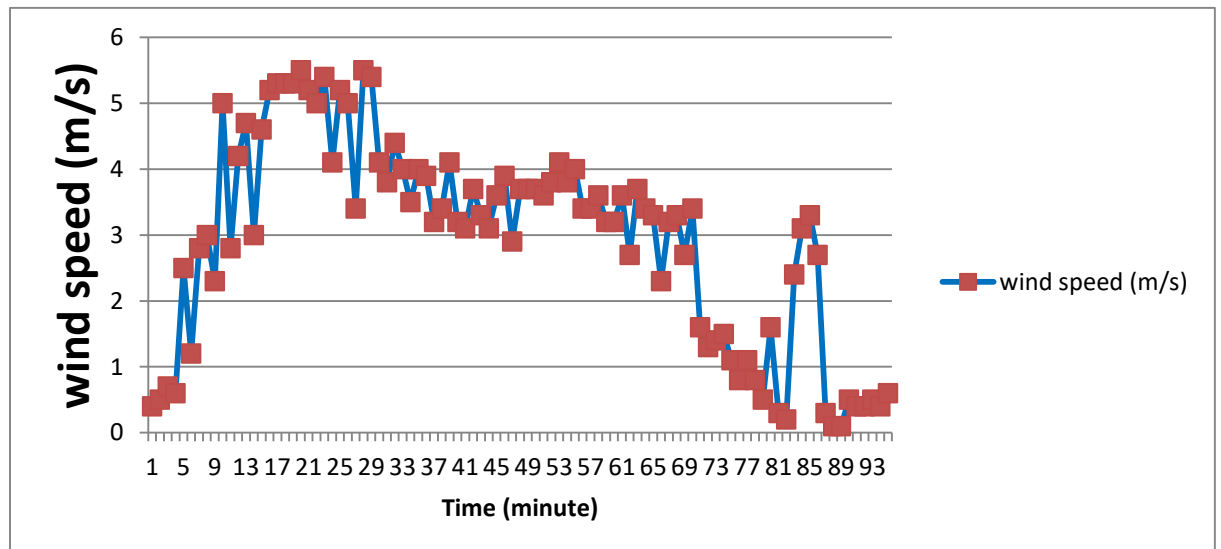


Figure 2. Wind speed at tamban beach in malang east java district

Wind turbines using blade profile NACA airfoil with changes in pitch angle can improve turbine performance and reach its peak at a pitch angle⁰, then the performance of wind turbines drops this is due to the greater pitch angle then the emergence of dynamic stall phenomenon where dynamic stall will bring up the negative elevator besides that the pitch angle greater than 20⁰ is thought to cause vortex at the trailing edge in the downstream area to be faster dispersed (Fujisawa, 2001), so this will reduce the drag value of the wind turbine which in turn will also reduce the power and performance coefficient of the wind turbine . The large pitch angle of the drag coefficient is getting smaller because the frontal area of the bladed wind is also getting smaller. Modifying the shape of the NACA airfoil with the addition of a wind outlet hole on the front side of the turbine blade in addition to being able to delay the separation also increases the resultant force which causes the wind turbine to spin, this is due to the profile drag and lift combination which ultimately enlarges the resultant force.

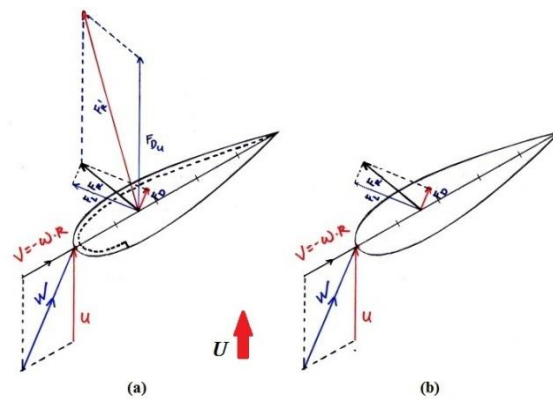


Figure 3. Aerodynamic forces acting on the blades

While the conversion of wind energy into electricity with the implementation of the wind turbine with the installation of a blade with a pitch angle of 10⁰, 15⁰, 20⁰ produces different electrical energy and the beginning of turning a different turbine.

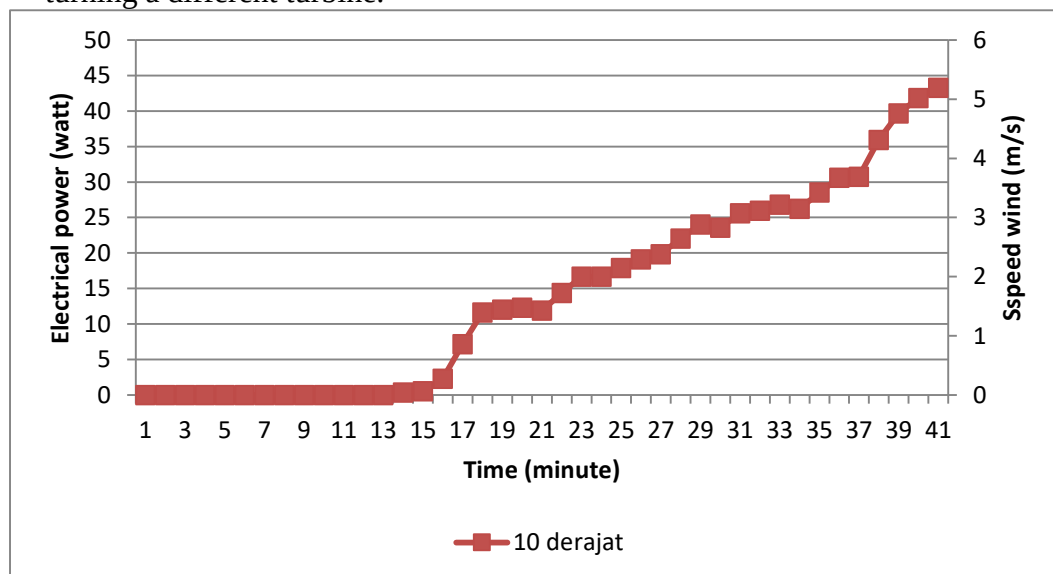


Figure 4. Electrical energy generated by wind turbines with a pitch angle of 10^0

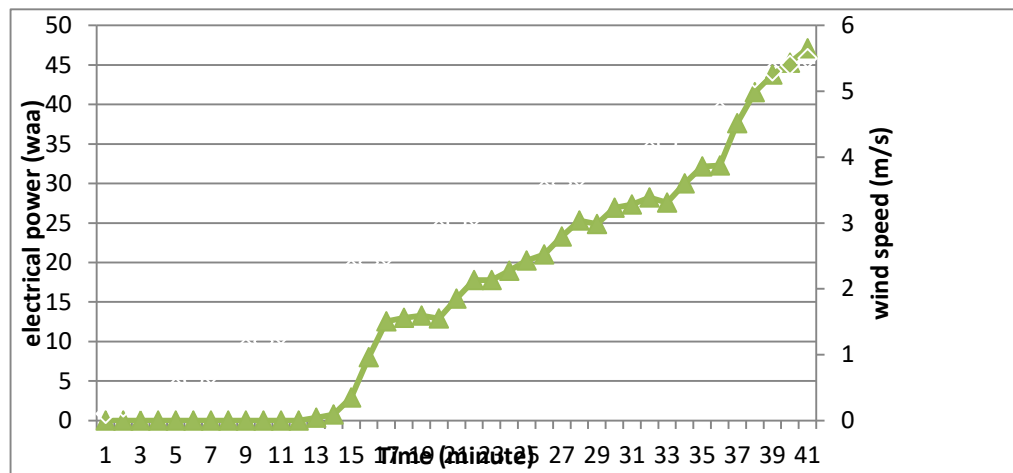


Figure 5. Electrical energy generated by wind turbines with a pitch angle of 15^0

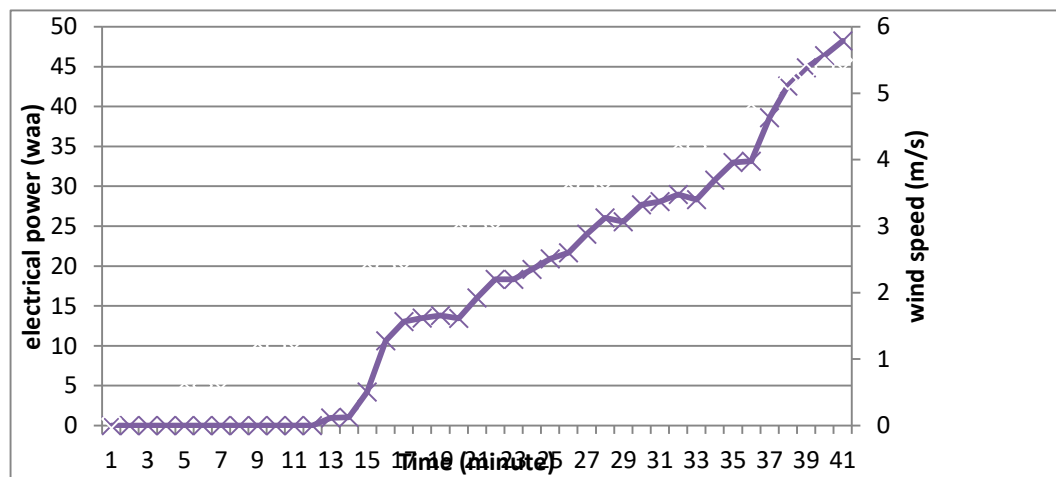


Figure 6. Electrical energy generated by wind turbines with a pitch angle of 20^0

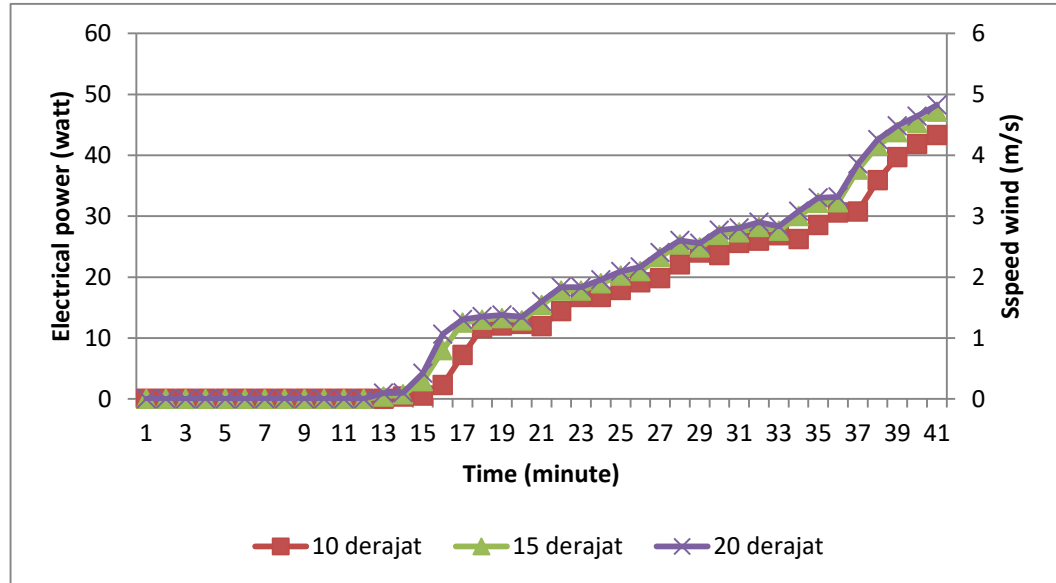


Figure 7. Electrical energy produced by the Darrieus 6 blade wind turbine

The electrical energy produced by the turbine generator increases, this is due to the power generated by the turbine and the turbine performance coefficient increases with increasing pitch angle to the angle 10^0 - 20^0 , because at this angle the lift coefficient value of the NACA airfoil profile bar increases but if the pitch angle is enlarged again, there will be a dynamic stall phenomenon (Ragheb, 2013) because the flow is aligned at the end of the blade.

4. CONCLUSION

Electric power generated from the use of darrieus wind turbines with NACA blade airfoil models on the coast with a number of 6 blades with pitch angle 10^0 , 15^0 , 20^0 produces optimum electrical energy in blade installation with pitch angles 20^0 with electrical power values 0.95-48.24 watts at an average wind speed of 2-5.5 m/s. The higher wind speed causes a decrease in the performance of wind turbines, this is expected to be the higher the wind speed, the turbine rotation is also higher so that the wind turbine will become a cylinder which blocks some air from entering the inside of the wind turbine so that useful air mass flow rates to drive the wind turbine is reduced which ultimately the power that can be extracted by the wind turbine is also reduced. the darrieus wind turbine NACA airfoil model starts to rotate at a wind speed of 2 m/s with a pitch angle of 20. while the implementation of the turbine from moldel NACA airfoil a one-day can produce electrical energy on average 800 watts with a 300 watt generator capacity

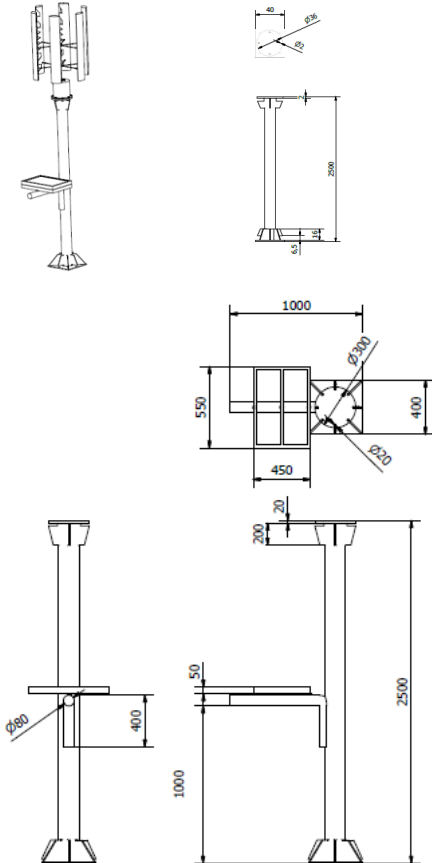
5. ACKNOWLEDGMENTS

This research is supported by the research program of the Directorate of Research and Community Service, Ministry of Research, Technology and Higher Education. in the institution's national strategic research scheme in 2018. with contract numbers 000005 / UN38.11-P / LT / 2018.

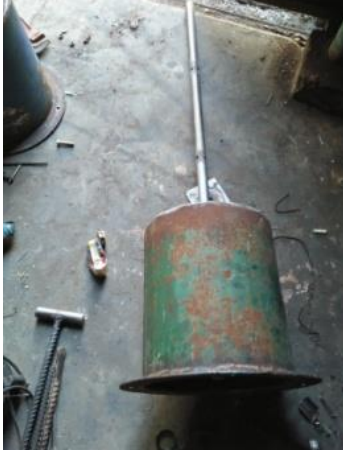
6. REFERENCES

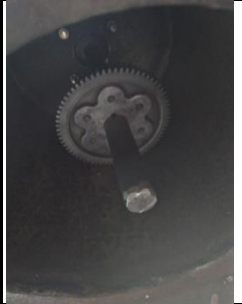
- [1]. Hansen AC, Butterfield CP. Aerodynamics of Horizontal Axis Wind Turbines. *Annual Review of Fluid Mechanics* 1993;25:115-149.
- [2] Howell R., Qin N, Edwards J, Durrani N. Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine. *Renewable Energy* 2010; 35: 412-422.
- [3] Joao Vicente Akwa, Horacio Antonio Vielmo, and Adriane PriscoPetry, "A Review on the Performance of Savonius Wind Turbines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, no. 5 (2012): 3054–64.
- [4] Jin X, Zhao G, Gao K, Ju W. Darrieus vertical axis wind turbine: Basic research methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015; 42(1):212-225.
- [5] Islam M, Ting DS, Fartaj A. Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008; 12(4):1087-1109.

Catatan Harian (*Logbook*)

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan	Capaian	Berkas kegiatan
1.	Selasa, 20 Maret 2018	Kegiatan rapat koordinasi tim untuk membuat jadwal kegiatan penelitian	5	
2.	Kamis, 22 Maret 2018	Pembuatan desain sistem pembangkit listrik wind turbin	10	

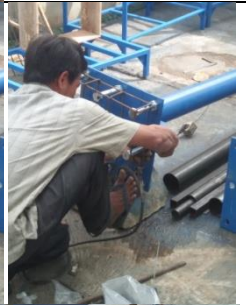
3.	Jumat, 23 Maret 2018	Pemotongan bahan pembuatan dudukan tiang turbin angin	10		
No.	Tanggal	Uraian Kegiatan	Capaian	Berkas kegiatan	
4.	Sabtu, 24 Maret 2018	Pengeboran plat p dudukan turbin angin bagian atas	15		
5.	Rabu, 28 Maret 2018	Pengeboran plat p dudukan turbin angin bagian bawah	16		
6.	Kamis, 29 Maret 2018	Pembuatan blade turbin angin	16		

				
7.	Jumat, 30 Maret 2018	Pembuatan rumah turbin untuk dudukan generator, gear transmisi turbin	16	  
8.	Selasa, 10 April 2018	Pemasangan poros turbin dan lengan blade turbin	20	   

9.	Jumat, 13 April 2018	Pemasanganudukan generator	20	  
10.	Kamis, 19 April 2018	Pengesetan gear transmisi dan pemasangan	20	 
11.	Senin, 16 April 2018	Pengecekan putaran generator	25	
12.	Rabu, 25 April 2018	Pengelasan dan pengecatan lengan dan turbin angin	25	 

				
13.	Rabu, 25 April 2018	Pengecatan turbin angin	25	   
14.	Selasa, 08 Mei 2018	Pengujian pengesetan blade turbin angin	30	 
15.	Selasa, 15 Mei 2018	Pengelasan plat dudukan tiang turbin angin bagian atas	35	 

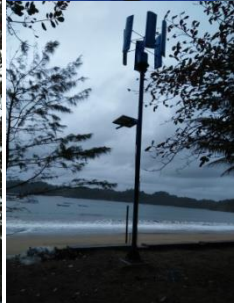
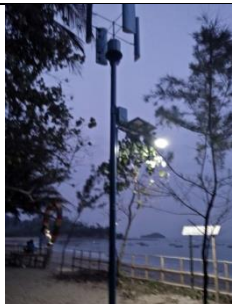
16.	Jumat, 18 Mei 2018	Pengelasan plat dudukan tiang turbin angin bagian bawah	38	
17.	Senin, 21 Mei 2018	Pembuatan tiang turbin angin	40	
18.	Senin, 04 Juni 2018	Pengecatan tiang turbin angin	40	

					
19	Rabu, 06 Juni 2018	Pemasangan rangka besi cor untuk dudukan tiang turbin angin	45	   	
20	Sabtu, 09 Juni 2018	Persiapan pengangkutan instrumen penelitian turbin angin ke pantai tambang kabupaten malang dengan truck	47	  	

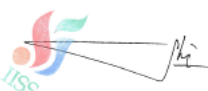
21	Senin, 11 Juni 2018	Pembuatan lubang untuk pondasi 3 tiga buah tiang turbin angin	47	
22	Selasa, 12 Juni 2018	Pemasangan rangka pondasi dan becanting untuk pondasi tiga buah tiang turbin angin	50	
23	Rabu, 13 Juni 2018	Pengecoran tiga buah pondasi tiang turbin angin	50	

				   
24	Rabu, 20 Juni 2018	Pemasangan turbin angin di pesisir pantai	52	 

				
25	Senin, 02 Juli 2018	Pemasangan kontak kontrol listrik	55	 
26	Kamis, 05 Juli 2018	Pemasangan turbin angin 6 blade	60	

27	Kamis, 12 Juli 2018	Pemasangan tempat lampu di tiang	60	 
28	Sabtu, 14 Juli 2018	Pembuatan data logger untuk pengambilan data penelitian	70	
29	20 24,25,26 juli & 1,2,3,6,7 agustus 2018	Pengambilan data penelitian	75	   
30	2,3,4 September 2018	Analisis data penelitian	80	
31	10 September 2018- sekarang	Pemanfaatn turbin sebagai penerangan di pesisir pantai	85	 
32	15,16,17 september	Pembuatan jurnal ilmiah	85	

	2018			
33	9,10,11 oktober 2018	Pembuatan makalah ilmiah	85	
34	11, 12, 13 oktober 2018	Pembuatan laporan kemajuan	90	
35	Selasa, 23 Oktober 2018	seminar international incomera di UB Malang	95	 ICOMERA The 1st International Conference on Mechanical Engineering Research and Application 2018 Mechanical Engineering Department, Swadaya University Gedung Teknik Meas L & MT Ilirgama 1st Malang 60132 East Java - Indonesia PAPER ACCEPTANCE NOTIFICATION Number : 045-2/ICOMERA2018/LoA Date : 2 October 2018 First Author : Subuh Isnur Heryuda Email : subuhisnur@unesa.ac.id Affiliation : Department of Mechanical Engineering, Universitas Negeri Surabaya Co-authors : I Wayan Susila, Indra Herlambang Singgar, Aris Anasri Paper Title : Power Control of Grid-Connected Photovoltaic-Wind Turbine-Buoy Conversion Energy Wave Hybrid System Paper ID : ICOMERA_2018_paper_045 Dear Sir/Madam/Dr./Prof., We are pleased to inform you that, after a careful double-blind peer-reviewing process, your manuscript is accepted for oral presentation at the 1st International Conference on Mechanical Engineering Research and Application 2018 (ICOMERA 2018) to be held from 23 - 25th October 2018 in Malang, Indonesia. To be eligible to publish in IOP Conference Series (Scopus Indexed), please submit your full paper using ICOMERA 2018 paper template (http://icomera.teknik.ub.ac.id/template) and make revision as advised by our reviewer. Also, selected papers will be published in International Journal of Integrated Engineering (IJIE) - UTHM (Scopus Indexed) which is subjected to terms and conditions stipulated by IJIE editorial board. The information regarding the publication in IJIE will be informed in separate letter. After receiving this Letter of Acceptance (LoA), you need to: 1. Submit your full paper to EasyChair by visiting our website (http://icomera.teknik.ub.ac.id/registration-process/). 2. Do the payment of registration fee via bank transfer (http://icomera.teknik.ub.ac.id/registration/) as directed in the email. 3. Send the payment confirmation by e-mail to icomera.ub@gmail.com and icomera@ub.ac.id Please complete the registration steps above by 19 October 2018 as the latest. Please note that Presenter MUST be present during presentation session. Otherwise, the paper will not be published. Should you have any questions concerning registration, conference program, and paper publication, please do not hesitate to contact us by e-mail to icomera.ub@gmail.com and icomera@ub.ac.id. For the most updated information of the conference, kindly refer to the official conference website at http://icomera.teknik.ub.ac.id Thank you, Yours sincerely, Agung Sugeng Wicakso, ST., MT., PhD. Chairman of ICOMERA 2018
36	9,10,11 November 2018	Pembuatan draf laporan penelitian	95	

37	14, 15 November 2018	seminar international IISS PPS UB Malang	100	 THE 12th INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY STUDIES SEMINAR NOVEMBER 14th - 15th, 2018; LIEN SUITES HOTEL, MALANG, INDONESIA Interdisciplinary Postgraduate School, Brawijaya University Jl. Mayjen Haryono 169, Malang 65145, Indonesia Telp. : +62-341-571250 ; Fax: +62-341-580601 http://iiss.ppsub.ub.ac.id E-mail: ppsub@ub.ac.id October 19, 2018 LETTER OF ACCEPTANCE Dear arisansori, On behalf of the committee, we are pleased to confirm that your abstract, Implementation Of The Darrieus Type H Wind Turbine On The South Coast Of East Java has been accepted, with editorial decision: Accepted for Oral Presentation at <i>The 12th International Interdisciplinary Studies Seminar</i>. Please note that, in order for the abstract to be included in the conference program, presenters are required to complete the registration fee. Your presentation is an important part of the conference, and we are looking forward to meet you at the conference. Sincerely,  Lukman Hakim, Dr.Sc. Conference chairperson
38	28 November 2019	Perbaikan laporan akhir tahun penelitian	100	

Lampiran 4. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ARIS ANSORI S.Pd, M.T

Alamat : Puri Kartika Asri KK7 Arjowinangun Kedungkandang Malang

berdasarkan Surat Keputusan Nomor 000005/UN38.11-P/LT/2018 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 042.06.1.401516/2018 mendapatkan Anggaran Penelitian Pengembangan Pembangkit

Listrik Energi Terbarukan dengan Memanfaatkan Energi Ombak, Angin dan Matahari di

Pesisir Pantai selatan Jawa Timur dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids sebesar

230,000,000 .

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	Jumlah
01	Honorarium Honorarium pembantu lapangan	6,000,000
02	Peralatan Penunjang	0

03	Bahan Habis Pakai Fiber (resin)Serat fiberSerat karbonPlat strip 2x2x1 mmgalvanis lembaranBaja ST 47Bearing free frectionGenerator turbin 1000 WattGear box transmisi turbin 300 WattPipa galvanis 3 dimPipa galvanis 1 dimPlat besi tebal 5 mmPlat besi tebal 1 mmBesi kotal 30x30x2 mmPipa besi 3 dimKontroler sistem wind turbinMur baut 6 mmMur baut 10 mmMur baut galvasnis 12 mmMur baut galvanis 14 mmMata gerinda potongMata bot 3 mmMata bot 6 mmMata bot 10 mmMata bot 12 mmMata bot 14 mmMata bot 16 mmKertas gosok 500 meshKertas gosok 1000 meshElektroda las 1,2 mmTiner ACat expoxyBatu gerindaController pengisianInventerBaterai kering 12V 100 AhKonektor bateraiMCB AC 10 AmpereMCB AC 20 AmpereLSIS Magnetic Contactor MC - 18B Schneider electric MCB domaeFuji Electric Magnetic Contactor 24V at 50Hz, 24-26V at 60Hz (AC)Fuji Electric Magnetic Contactor 220-240V at 50Hz, 240-260V at 60Hz (AC)Sekring DC 10 AmpereSekring DC 20 AmpereSekring DC 40 AmpereKabel serabut 2x2,5mm untuk turbin angin warna merahKabel serabut 2x2,5mm untuk turbin angin warna hitamSocket kabelkabel NYA merah 2 mmkabel NYA hitam 2 mmLampu indikatro ACLampu indikatro DCVometer digital ACampere digital DCVometer analog ACampere analog DCStop ON/OFFStop kontakSolder listrik 250 wattTimah patriLampu LED 25 wattLampu LED 40 wattLampu LED 60 wattLampu LED 100 wattLampu LED 125 wattCartride hitamCartride warnaFlas Disk 6 GKertas A4 80 gramTinta UV hitamTinta UV warnaPendaftaran Seminar ilmiah internasionalPenggandaan laporan penelitianPenjilidan laporan penelitianPublikasi Jurnal InternasionalPengurusan HAKIAkomodasi penelitianSewa mesin las listrikSewa gergaji potongSewa ruang laboratoriumSewa mesin bor Sewa mesin gerindaSewa mesin polesSewa AnemometerSewa solar meterSewa kapal nelayanSewa mobil truk	146,720,000
04	Perjalanan Perjalanan pembuatan komponen penelitianPerjalanan perakitan instrumen penelitianPerjalanan uji coba instruen penelitianPerjalanan pengambilan data penelitianPerjalanan analisa data penelitianPerjalanan pembuatan jurnal ilmiahPerjalanan pembuatan makalah ilmiah	61,100,000
05	Lain-lain Lain-lain dan pajak	16,180,000
	Jumlah	230,000,000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan penelitian dimaksud.
3. Bersedia menyimpan dengan baik seluruh bukti pengeluaran belanja yang telah dilaksanakan.
4. Bersedia untuk dilakukan pemeriksaan terhadap bukti-bukti pengeluaran oleh aparat pengawas fungsional Pemerintah

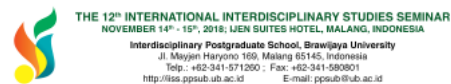
5. Apabila di kemudian hari, pernyataan yang saya buat ini mengakibatkan kerugian Negara maka saya bersedia dituntut penggantian kerugian negara dimaksud sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

12-10-2018
tua,
PA7T21AFF345766559
6000
ESAN
(ARIS ANSORI, S.Pd, M.T)
NIP/NIK 197803302008121002

Lampiran 5. Luaran yang dihasilkan

Institusi : Universitas Negeri Surabaya			
Judul : Pengembangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dengan Memanfaatkan Energi Ombak, Angin dan Matahari di Pesisir Pantai selatan Jawa Timur dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids			
JURNAL NASIONAL TERAKREDITASI		JURNAL INTERNATIONAL BEREPUTASI	
Draft	-	Draft	1 Artikel
Submit/review	-	Submit/review	1 Artikel
Accepted	-	Accepted	
Publish	-	Publish	
PATEN		PROTOTYPE	
Draft	1 draf	Skala Lab	
Pengajuan		Skala Scala up Lap	3 Unit
Terdaftar			
Proceding Nasional		Proseding Internasional	2 makalah
		Ket: 1. Implementation Of The Darrieus Type H Wind Turbine On The South Coast Of East Java (seminar internasional: The 12th International Interdisciplinary Studies Seminar, tgl 14, 15 november 2018 di PPS UB Malang. 2. Power Control of Grid-Connected Photovoltaic-Wind Turbin-Bouy Conversion Energy Wave Hybrid System, (seminar international ICOMERA_2018_paper_045 di mechanical engineering Departement, UB Malang tanggal 23 Oktober 2018)	
Nama-nama Jurnal yang di tuju			
1. International Journal Of Mechanical Engineering & Technology (IJMET)			
2. Renewable Energy Focus			
Photo			
Letter accepted			



October 19, 2018

LETTER OF ACCEPTANCE

Dear arisansori,

On behalf of the committee, we are pleased to confirm that your abstract,

Implementation Of The Darrieus Type H Wind Turbine On The South Coast Of East Java

has been accepted, with editorial decision:

Accepted for Oral Presentation

at *The 12th International Interdisciplinary Studies Seminar*.

Please note that, in order for the abstract to be included in the conference program, presenters are required to complete the registration fee.

Your presentation is an important part of the conference, and we are looking forward to meet you at the conference.

Sincerely,

Lukman Hakim, Dr.Sc.
Conference chairperson

PAPER ACCEPTANCE NOTIFICATION

Number : 045-2/N/ICOMERA2018/LoA
Date : 2 October 2018

First Author : Subuh Iman Haryudo
Email : subuhiman@unesa.ac.id
Affiliation : Department of Mechanical Engineering, Universitas Hegeri Surabaya
Co-authors : I Wayan Susila, Indra Hartama Singgar, Aris Ansori
Paper Title : Power Control of Grid-Connected Photovoltaic-Wind Turbine-Busy Conversion Energy Wave Hybrid System
Paper ID : ICOMERA_2018_paper_045

Dear Sir/Madam/Dr./Prof.,
We are pleased to inform you that, after a careful double-blind peer-reviewing process, your manuscript is accepted for oral presentation at the 1st International Conference on Mechanical Engineering Research and Application 2018 (ICOMERA 2018) to be held from 23 - 25th October 2018 in Malang, Indonesia.

To be eligible to publish on IOP Conference Series (Scopus Indexed), please submit your full paper using ICOMERA 2018 paper template (<http://icomera.teknik.uib.ac.id/templates>) and make revision as advised by our reviewer.

Also, selected papers will be published in International Journal of Integrated Engineering (IJIE) - UTHM (Scopus Indexed) which is subjected to terms and conditions stipulated by IJIE editorial board. The information regarding the publication in IJIE will be informed in separate letter.

After receiving this Letter of Acceptance (LoA), you need to:

1. Submit your full paper to EasyChair by visiting our website (<http://icomera.teknik.uib.ac.id/registration-process/>).
2. Do the payment of registration fee via bank transfer (<http://icomera.teknik.uib.ac.id/registration/>) as directed in the email.
3. Send the payment confirmation by e-mail to icomera.uib@gmail.com and icomera@uib.ac.id

Please complete the registration steps above by 19 October 2018 as the latest.

Please note that Presenter MUST be present during presentation session. Otherwise, the paper will not be published.

Should you have any questions concerning registration, conference program, and paper publication, please do not hesitate to contact us by e-mail to icomera.uib@gmail.com and icomera@uib.ac.id. For the most updated information of the conference, kindly refer to the official conference website at <http://icomera.teknik.uib.ac.id>

Thank you,

Yours sincerely,

Agung Supriy, Widodo, ST., MT., PhD.
Chairman of ICOMERA 2018

3. Produk yang dihasilkan dan digunakan masyarakat



Surabaya, 15 November 2018
Ketua Peneliti

Aris Ansori, S.Pd., MT.



UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

KEPUTUSAN

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

Nomor 383/UN38/HK/LT/2018

tentang

**PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN PROGRAM INSENTIF RISET SISTEM INOVASI NASIONAL LANJUTAN
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TAHUN 2018**

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

- Menimbang : a. bahwa berdasarkan surat Direktorat Pengembangan Teknologi Industri, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi tanggal 13 Februari 2018, tentang Pengumuman Penerima Insentif Riset Sinas Pendanaan Tahun 2018 (Gelombang I), maka perlu dilakukan penetapan penerima Penelitian Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional Lanjutan yang berasal dari Universitas Negeri Surabaya;
- b. bahwa berdasarkan pertimbangan tersebut pada butir a di atas maka dipandang perlu menerbitkan keputusan ini.
- Mengingat : 1. Undang-Undang RI Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Undang-Undang RI Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen;
3. Undang-Undang RI Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan;
4. Undang-Undang RI Nomor 12 tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
5. Peraturan Pemerintah RI Nomor 37 Tahun 2009 tentang Dosen;
6. Peraturan Pemerintah RI Nomor 66 tahun 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan;
7. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
8. Peraturan Presiden RI Nomor 87 Tahun 2014 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan;
9. Peraturan Presiden RI Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
10. Keputusan Presiden RI Nomor 93 tahun 1999 tentang Perubahan IKIP menjadi Universitas;
11. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 92/PMK.05/2011 tentang Rencana Bisnis dan Anggaran Serta Pelaksanaan Anggaran Badan Layanan Umum;
12. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan RI Nomor 15 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Negeri Surabaya;
13. Peraturan Menristekdikti RI Nomor 98 Tahun 2016, tentang Pemberian Kuasa dan Delegasi Wewenang Pelaksanaan Kegiatan Administrasi Kepegawaian Kepada Pejabat tertentu dilingkungan Kemristekdikti;
14. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 79 Tahun 2017 tentang Statuta Universitas Negeri Surabaya;

15. Keputusan Menkeu RI Nomor 50/KMK.05/2009 tentang Penetapan Universitas Negeri Surabaya Pada Departemen Pendidikan Nasional sebagai Instansi Pemerintah yang menerapkan Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;
16. Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI Nomor 164/MPK.A4/KP/2014 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Negeri Surabaya.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TENTANG PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN PROGRAM INSENTIF RISET SISTEM INOVASI NASIONAL LANJUTAN UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA ;
- KESATU : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Penerima Penelitian Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional Lanjutan Universitas Negeri Surabaya wajib berpedoman pada ketentuan yang berlaku, dan secara tertulis memberikan laporan kepada Rektor Universitas Negeri Surabaya;
- KEDUA : Kegiatan penelitian tersebut dibiayai oleh Dana Anggaran DIPA Kementerian Riset Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Tahun 2018;
- KETIGA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan bahwa segala sesuatunya akan ditinjau dan diubah sebagaimana mestinya apabila ternyata di kemudian hari terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di : Surabaya
Pada tanggal : 5 Maret 2018
Rektor,

ttd

WARSONO
NIP 196005191985031002

Salinan sesuai dengan Keputusan yang asli.
Kepala Biro Umum dan Keuangan

Salinan disampaikan kepada Yth :

1. Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
2. Sekretaris Jenderal Kemristekdikti
3. Inspektur Jenderal Kemristekdikti
4. Dirjen Sumber Daya Iptek dan Dikti Kemristekdikti
5. Para Wakil Rektor Unesa
6. Para Dekan, Dir. PPs, Ketua Lembaga
7. Kepala Biro Selingkung Unesa

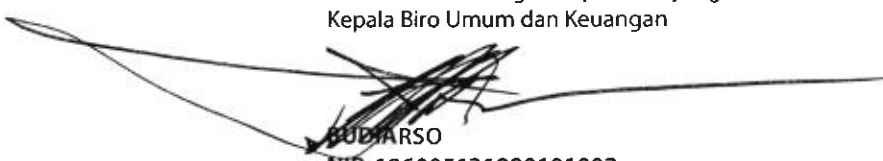

BUDIARSO
NIP 196005131980101002

Lampiran : Keputusan Rektor Unesa
Nomor : 383/UN38/HK/LT/2018

**DAFTAR PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN PROGRAM INSENTIF RISET SISTEM INOVASI NASIONAL LANJUTAN
TAHUN ANGGARAN 2018**

No.	Fak.	Jurusan	Judul Penelitian	Pola	Tim Peneliti	NIDN	Gol.	Pend.	L/P	Waktu (bln)	Dana (Rp)	Jenis Penelitian
1	FT	Teknik Mesin	Pengembangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dengan Memanfaatkan Energi Ombak, Angin Dan Matahari Di Pesisir Pantai Selatan Jawa Timur Dengan Menggunakan Teknologi Hybrid On-Grids	Teknologi Energi	Aris Ansori, S.Pd., M.T. Prof. Dr. Ir. I Wayan Susila, M.T. Subuh Isnur Haryudo, S.T., M.T. Indra Herlamba Siregar, S.T., M.T.	0030037800 0015125302 0020087506 0007097103	III/b IV/d III/c III/c	S2 S3 S2 S2	L L L L	9	230.000.000	Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional Lanjutan

Salinan sesuai dengan Keputusan yang asli.
Kepala Biro Umum dan Keuangan


WARSONO
NIP 196005131980101002

Ditetapkan di : Surabaya
Pada tanggal : 5 Maret 2018
Rektor,

ttd

WARSONO
NIP 196005191985031002