

ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DI TAMAN TEKNOLOGI TOWER TURYPADA

Ihsan Muhabil¹, Krisna Hari², Ismail Hasan³, I Made Oka Widyantara⁴, I Wayan Sukerayasa⁵

^{1,2,3}Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{4,5}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kecamatan Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali, 80361
ihsanmuhabil@gmail.com, krisnahari27@gmail.com, iismailhasan@gmail.com

ABSTRAK

Tower Turyapada adalah pusat wisata berkonsep teknologi dengan berbagai wahana/object wisata yang terletak di Bukit Pegayaman, Singaraja dan di program untuk memenuhi kriteria Bangunan Gedung Hijau (BGH). Salah satu komponen penilaian BGH adalah penggunaan energi terbarukan. Penggunaan energi terbarukan yang cocok dimanfaatkan pada bangunan tower turyapada ini yaitu PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), karena berada di daerah perbukitan dengan angin kencang. Telah dilakukan analisa potensi PLTB menggunakan metode deskriptif melalui pendekatan kuantitatif. Analisis potensi energi angin menggunakan data primer dengan melakukan pengukuran langsung di kawasan Tower Turyapada pada bulan Februari – Maret dan menggunakan data sekunder dari Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai Kabupaten Badung. Hasil analisis menunjukkan nilai rata – rata kecepatan angin di kawasan Tower Turyapada bulan Februari - Maret sebesar 3,55 m/s dan 4,58 m/s. Spesifikasi turbin angin menggunakan TSD-500 karena dapat menghasilkan listrik dengan kecepatan angin rendah dan menggunakan turbin sebanyak 10 unit. Hasil analisa diperoleh energi listrik sebesar 2.159 kWh/Tahun. Kebutuhan beban listrik Bangunan Pedestal sebagai bangunan utama Taman Teknologi Tower Turyapada sebesar 7.787.000 kWh/Tahun, sehingga tidak dapat memenuhi beban listrik Bangunan Pedestal karena hanya menyuplai daya sebesar 0,00028 %. Riset ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar energi angin yang dapat menghasilkan energi listrik dengan kondisi energi angin di Kawasan Tower Turyapada.

Kata kunci : BGH, Energi Baru Terbarukan, PLTB

ABSTRACT

. Tower Turyapada is a technology concept tourism center with various attractions located in Pegayaman Hill, Singaraja and is programmed to meet Building Green Building (BGH) criteria. One component of the BGH assessment is the use of renewable energy. The use of renewable energy that is suitable to be utilized in this tower building is PLTB (Wind Power Plant), because it is located in a hilly area with strong winds. The potential of wind power plant has been analyzed using descriptive method through quantitative approach. Analysis of wind energy potential using primary data by taking direct measurements in the Turyapada Tower area in February - March and using secondary data from the I Gusti Ngurah Rai Meteorological Station, Badung Regency. The analysis results show the average value of wind speed in the Tower Turyapada area in February - March amounted to 3.55 m / s and 4.58 m / s. The wind turbine specification uses TSD-500. Wind turbine specifications use TSD-500 because it can generate electricity at low wind speeds and uses 10 units of turbines. The results of the analysis obtained electrical energy of 2,159 kWh / year. The electrical load requirement of the Pedestal Building as the main building of the Turyapada Tower Technology Park is 7,787,000 kWh / year, so it cannot meet the electrical load of the Pedestal Building because it only supplies power by 0.00028%. This research was

conducted to find out how much wind energy can produce electrical energy with wind energy conditions in the Turyapada Tower Area.

Key Words : BGH, New Renewable Energy, Wind Power Plant.

1. PENDAHULUAN

Lebih dari 82% penggunaan energi di Indonesia bergantung pada minyak bumi [1]. Keterbatasan cadangan minyak bumi memaksa pemerintah untuk mencari solusi sumber energi alternatif lain. Berbagai negara maju juga telah bersaing dengan membuat terobosan baru dengan mencari sumber energi lain yang dapat menggantikan minyak bumi, yaitu dengan memanfaatkan energi terbarukan [2]. Indonesia memiliki beberapa peluang pemanfaatan energi sumber daya alam seperti matahari, air, dan angin yang pemanfaatannya dapat mengurangi penggunaan minyak bumi [3].

Berdasarkan Dokumen Peraturan Kementrian PUPR No. 21 tahun 2021 tentang BGH, Efisiensi penggunaan energi pada bangunan memberikan nilai sebesar 46 poin dari 165 poin yang cukup besar dalam penilaian Bangunan Gedung Hijau tahap perencanaan teknis bangunan gedung baru. Pada penilaian BGH bagian efisiensi penggunaan energi, disebutkan "Jika terdapat rencana pemanfaatan sumber energi listrik dari sumber energi terbarukan maka akan menambah nilai 2 poin" [4]. Maka dilakukan perencanaan energi terbarukan untuk pembangunan Tower Turyapada. Berdasarkan tinjauan, Tower Turyapada berlokasi di Bukit Pegayaman, Singaraja yang berada di wilayah puncak perbukitan dengan angin kencang dan curah hujan yang tinggi. Berdasarkan wilayah dan kondisi geografis tersebut, pemanfaatan energi terbarukan yang tepat ialah pembuatan PLTB.

Peneliti terdahulu juga melakukan penelitian untuk mengetahui potensi angin di Pantai Ciheras. Daya listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini memadai untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan hasil perhitungan sebesar 137 W [3].

Pemerintah Provinsi Bali aktif dalam mendukung program pemerintah pusat dalam bidang EBT dan pengembangan

BGH. Hal ini ditunjukkan dengan dikeluarkannya Pergub No. 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih dan dipertegas pada SK Gubernur No. 879 Tahun 2022 tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Bangunan Gedung Hijau yang merupakan pendukung penyelenggaraan BGH dari Peraturan Menteri PUPR No.21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau [5][6].

Tower Turyapada merupakan pusat wisata berkonsep teknologi dengan berbagai wahana/objek wisata. Menurut Dokumen Studi Kelayakan (Feasible Study) dan dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup (UKL) serta Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UPL), bangunan Tower turyapada memiliki luas 10.602,75 m² [7][8]. Jika mengacu pada Kepmen Pekerjaan Umum no 441/KPTS/1998, Tower Turyapada ini termasuk pada klasifikasi bangunan klas 9b [9]. Dengan demikian, berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No.21 tahun 2021 Bab II Pasal 2 disebutkan bangunan Tower Turyapada ini termasuk kategori wajib (*mandatory*). Maka dari itu, dibutuhkan analisa perencanaan energi baru terbarukan dalam mendukung terpenuhinya dokumen bangunan gedung hijau pada pembangunan tower turyapada.

2. KAJIAN PUSTAKA

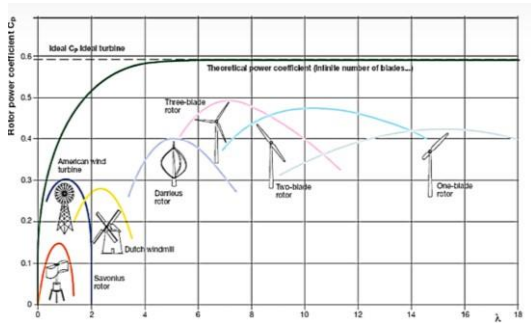
2.1 Energi Angin

Secara sederhana energi angin dapat memutar *blades* yang ada pada turbin angin [10]. Generator akan menghasilkan energi listrik pada saat poros yang terhubung dengan *blades* memutar ketika terkena angin. Dengan meningkatkan jumlah turbin angin, maka daya listrik yang dihasilkan akan lebih besar.

2.2 Koefisien Daya Turbin Angin

Pada perencanaan turbin angin, diperlukan koefisien daya (C_p) yang memiliki nilai di bawah konstanta *betz law* karena munculnya rugi-rugi material dll. Nilai

koefisien daya bergantung pada jenis turbin yang akan digunakan [11].



Gambar 1. Besar Nilai Koefisien Daya dari Beberapa Turbin Angin

Dapat dilihat pada gambar bahwa Koefisien Daya dari turbin angin dengan 3 bilah rotor yaitu sebesar 0,40.

2.3 Daya Turbin Angin

Kecepatan angin yang memutar sudu kincir angin dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik. Untuk menghasilkan daya efektif dari angin yang dihasilkan oleh turbin angin, maka diperlukan generator. Generator digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator terjadi karena berputarnya rotor pada generator yang dikopel oleh poros turbin. Besar energi listrik yang dihasilkan oleh generator ditentukan dari efisiensi generator dan efisiensi *gearbox*. Efisiensi *gearbox* dapat mencapai 95% dan efisiensi generator 80% [12]. Dengan begitu energi listrik yang dihasilkan oleh generator memiliki rumus sebagai berikut.

$$P_{gen} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_{gearbox} \cdot \eta_{gen}$$

Keterangan :

P_{gen} = Daya generator (Watt)

ρa = Kerapatan angin pada waktu tertentu (kg/s) (ketentuan ketetapan = 1,225 kg/s)

v = Kecepatan angin pada waktu tertentu (m/s)

A = Luas daerah sapuan angin (m^2)

C_p = Koefisien daya

$\eta_{gearbox}$ = Efisiensi *gearbox*

η_{gen} = Efisiensi generator

Dengan luas daerah yang melewati bilah rotor dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut [13].

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Keterangan:

D = Diameter bilah (m)

2.4 Kecepatan Angin

Syarat dan kondisi kecepatan angin kcepatan diukur dengan alat pengukur kecepatan dan arah angin. Kecepatan angin dibedakan berdasarkan kondisi alam yang terjadi sesuai pada tabel 1 [14].

Tabel 1. Tingkat Kecepatan Angin Berdasarkan Kondisi Alam.

Kelas	Kecepatan(m/s)	Kondisi Alam
1	0,00 - 0,2	
2	0,3 - 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 - 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 - 5,4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 - 7,9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 - 10,7	Ranting pohon bergoyang, air di kolam berombak kecil
7	10,8 - 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air di kolam berombak kecil
8	13,9 - 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 - 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 - 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,4 - 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 - 32,6	Menimbulkan kerusakan parah

Kelas 3 hingga kelas 8 menjadi kategori yang ideal untuk menghasilkan energi listrik.

2.5 Turbin Angin TSD 500 (*The Sky Dancer – 500*)

Pada perencanaan kali ini, peneliti menggunakan turbin angin berjumlah 3 sudu. Salah satu turbin angin yang dapat berputar dengan kecepatan angin minimal 2,5 m/s. *The Sky Dancer* termasuk kedalam tipe *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dengan 3 *blade*. Turbin ini dilengkapi dengan 16 *pole* 18 slot generator permanen magnet dan sistem transmisi 3 fasa. Dengan koefisien daya sebesar 0,40, maka turbin ini mampu memanfaatkan 40% dari total energi angin untuk diubah menjadi energi mekanik. Turbin ini mulai memproduksi listrik pada kecepatan angin 3 m/s. Turbin ini mampu menghasilkan daya maksimal sebesar 500 *Watt peak* (Wp) dengan panjang baling-baling 0,8 meter pada kecepatan angin 12 m/s dan diatasnya. Turbin TSD-500 dapat bertahan hingga kecepatan angin 33 m/s [4].



Gambar 2. Turbin Angin TSD – 500

Spesifikasi Turbin Angin TSD-500 sebagai berikut [5].

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Angin TSD – 500

Nama Sistem	TSD-500
Tipe Turbin	HAWT
Daya keluaran maksimum	500 Wp di 12 m/s
Turbin mulai berputar	2,5 m/s
Mulai pengisian baterai	3 m/s
Daya tahan turbin terhadap angin	33 m/s
Tipe generator	3-fasa magnet permanen
Diameter bilah	1,6 atau 2 m
Jumlah bilah	3 bilah
Material bilah	Kayu pinus
RPM maksimal	1000 RPM
Sistem penyimpanan	24 V
Berat generator	25 kg
Tinggi tiang kincir angin	4-11 m
Perusahaan pembuat generator	NIDEC Japan Corp

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Tower Turyapada, Desa Pegayaman, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng, Bali. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan September 2023 sampai Juni 2024. Berikut ini merupakan langkah-langkah kegiatan penelitian:

- a. Pengumpulan Data Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data, yaitu data konsumsi energi yang dibutuhkan pada bangunan gedung Pedestal dan pengukuran data kecepatan angin di daerah kawasan Tower Turyapada.
- b. Pemilihan spesifikasi jenis turbin menggunakan TSD-500 *three-blade rotors* untuk menghasilkan energi listrik membutuhkan kecepatan angin minimal 3 m/s.
- c. Melakukan Perhitungan Kecepatan Angin Berdasarkan Waktu Pengambilan Data. Pengukuran dilakukan pada bulan Februari dan Maret, kemudian dikomparasi dengan data dari Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai Kabupaten Badung Tahun 2023 selama 12 Bulan.
- d. Analisis hasil perhitungan manual Dalam perhitungan manual didapatkan hasil produksi yang dibangkitkan energi listrik selama 1 Tahun.
- e. Penarikan Kesimpulan daya yang dihasilkan dari energi angin. Berdasarkan langkah keempat maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan dari energi listrik yang dihasilkan dengan

kebutuhan beban energi listrik yang terpasang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kecepatan Angin Berdasarkan Lokasi

Pengukuran data kecepatan angin dilakukan di 6 titik pada daerah terbuka tanpa terhalang bangunan lain dan pepohonan. Dari hasil pengukuran kecepatan angin di beberapa titik Tower Turyapada, maka akan diperoleh nilai rata-rata sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai Kecepatan Angin di Beberapa Lokasi Tower Turyapada

No.	Lokasi	Rata-rata	Kecepatan Maksimal
1	Grand Floor 2 bag. Timur Laut	3,04 m/s	5,2 m/s
2	Lt. 2 bag. Utara	3,45 m/s	5,77 m/s
3	Lt. 3 bag. Utara	3,72 m/s	6,25 m/s
4	Lt. 4 bag. Timur Laut	4,1 m/s	8,11 m/s
5	Rooftop	4,61 m/s	7,82 m/s
6	Crane 1	9,38 m/s	14,1 m/s

Terlihat pada Tabel 3 semakin tinggi titik pengukuran, maka semakin tinggi hasil kecepatan angin rata-rata yang di dapat. Nilai terendah rata-rata kecepatan angin berada dilokasi ke-1 yaitu Lantai GF2 bagian Timur Laut bangunan dengan kecepatan rata-rata 3,04 m/s dan kecepatan angin tertinggi berada pada lokasi ke-6 yaitu Crane 1 dengan nilai 9,38 m/s.

4.2 Kecepatan Angin Berdasarkan Tanggal.

Karakteristik kecepatan angin dimulai pada tanggal 12 Februari – 29 Februari 2024 dan 1 Maret – 7 Maret 2024 disajikan pada gambar berikut:



Gambar 3. Pengukuran Kecepatan angin bulan Februari

Gambar 3 menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan angin rata-rata terbesar terjadi pada tanggal 13 ke 14 Februari 2024 sebesar 0,98 m/s dan penurunan paling besar terjadi pada tanggal 16 ke 17 Februari 2024 sebesar 0,73 m/s.



Gambar 4. Pengukuran Kecepatan angin bulan Maret

Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan angin rata-rata terbesar terjadi pada tanggal 1 ke 2 Maret 2024 sebesar 2,72 m/s dan penurunan paling besar terjadi pada tanggal 2 ke 4 Maret 2024 sebesar 1,96 m/s. Jika dibandingkan, maka kenaikan dan penurunan terbesar terjadi pada bulan Maret.

Faktor cuaca di lokasi pengukuran memiliki peran penting dalam pengambilan data kecepatan angin karena memiliki rata-rata kecepatan angin yang berbeda setiap harinya. Cuaca saat pengukuran di bulan Februari tergolong cerah berkabut dan beberapa kali terjadi hujan. Kecepatan rata-rata angin setiap harinya di bulan Februari berkisar antara 1,93 m/s – 3,79 m/s. Sedangkan rata-rata kecepatan angin yang didapat pada bulan Maret berkisar antara 4,42 m/s – 7,14 m/s.

Kondisi cuaca yang tidak menentu pada bulan Maret menyebabkan kecepatan angin berubah-ubah.

4.3 Perhitungan Potensi Energi Angin di Tower Turyapada

Keterbatasan data dan hasil pengukuran mengakibatkan peneliti menggunakan data kecepatan angin pada Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai Kabupaten Badung Tahun 2023. Dikombinasikan dengan pengukuran 2 bulan di lokasi Tower Turyapada yaitu Februari dan Maret untuk mendapatkan energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTB dalam 1 tahun. Berikut merupakan hasil kombinasi data pengukuran kecepatan angin dalam 1 tahun.

Tabel 5. Kombinasi Data Kecepatan Angin Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai Tahun 2023

Sesudah		Rata-rata (m/s)
Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	
Jan	4,42	3,45
Feb	3,55	
Mar	4,58	
Apr	3,08	
May	3,59	
Jun	3,08	
Jul	3,8	
Aug	3,85	
Sep	3,44	
Oct	2,87	
Nov	2,57	
Dec	2,6	

Sesuai dengan data yang terdapat di Tabel 5, rata-rata kecepatan angin dalam waktu 1 tahun adalah 3,45 m/s. Sehingga, dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan besar energi listrik oleh turbin angin. Pada perhitungan ini juga mengasumsikan besar efisiensi gearbox dan efisiensi generator sebagai berikut [17].

- Jenis Turbin : three-blade rotor (C_p : 0,40)
- Jari-jari : 0,8 m
- Efisiensi gearbox : 95%

- Efisiensi generator : 80%

Maka dengan menggunakan persamaan di bawah ini didapatkan hasil energi listrik dari turbin angin.

$$P_{gen} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_{gearbox} \cdot \eta_{gen}$$

$$P_{gen} = (0,40) \cdot \frac{1}{2} \cdot (1,225) \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 1,6^2\right) \cdot (3,45)^3 \cdot (0,95) \cdot (0,80)$$

$$P_{gen} = 24,5847936 \text{ Watt}$$

Jadi, energi listrik dapat dibangkitkan oleh turbin angin dengan menggunakan jenis turbin angin *three-blade rotors* sebesar 24,58 Watt. Maka energi listrik yang dihasilkan oleh generator dalam satu tahun dapat menggunakan rumus:

$$E_{gen} = 24 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot P_{gen}$$

Keterangan:

- n = jumlah hari dalam setahun
- P_{gen} = Watt

Dengan begitu, energi yang dihasilkan oleh generator pertahunnya yaitu:

$$E_{gen} = 24 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot P_{gen}$$

$$E_{gen} = 24 \cdot 10^{-3} \cdot (366) \cdot (24,58)$$

$$E_{gen} = 215,9 \text{ kWh/tahun}$$

Jadi, energi listrik dalam satu tahun yang dihasilkan oleh generator yaitu 215,9 kWh. Apabila 10 unit turbin angin dipasang di kawasan Tower Turyapada, total energi yang dihasilkan dalam satu tahun sebesar 215,9 kWh x 10 = 2.159 kWh/tahun. Penempatan turbin angin ini nantinya akan dilakukan di Rooftop Bangunan Pedestal Tower Turyapada.

4.4 Beban Bangunan Pedestal Tower Turyapada

Setelah mendapatkan hasil perhitungan, maka kita dapat mengetahui berapa persen daya yang dapat disokong dari PLTB yang telah direncanakan. Konsumsi Energi Pada Bangunan Pedestal yaitu sebesar 7.787.000 kWh/tahun. Maka,

- Perbandingan dengan 2.159 kWh/Tahun

$$\frac{2.159}{7.787.000} \times 100\% = 0,00028 \%$$

Dengan begitu, PLTB yang telah direncanakan dapat menyokong konsumsi energi dari Bangunan Pedestal sebesar 0,00028 %. Konsumsi energi dari Bangunan Pedestal tetap membutuhkan suplai dari PLN. Sehingga, PLTB yang telah direncanakan kurang efektif untuk diterapkan pada Tower Turyapada.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pembangkit listrik tenaga angin pada Bangunan Pedestal Tower Turyapada, dapat disimpulkan :

1. Kecepatan rata-rata angin di lingkungan Taman Teknologi Tower Turyapada KBS 6.0 Kerthi Bali diukur pada bulan Februari dan Maret sebesar 3,55 m/s dan 4,58 m/s, dari kecepatan maksimal di salah satu harinya mencapai 14,1 m/s yaitu pada lokasi 6, di Crane 1. Data pengukuran kecepatan angin menunjukkan variasi berbeda pada setiap Lokasi dan aliran kecepatan angin dipengaruhi oleh ketinggian tempat pengukuran dan hambatan seperti dinding gedung atau pepohonan.
2. Energi listrik pertahun dihasilkan oleh turbin angin sebesar 215,9 kWh/Tahun dan jika dipasang 10 turbin, total energi dihasilkan adalah 2.159 kWh/Tahun.
3. Berdasarkan data kecepatan angin selama setahun yang telah dikombinasi, energi listrik yang dihasilkan kecil jika menggunakan jenis turbin angin tersebut. Hal Ini menunjukkan bahwa potensi angin di lingkungan Tower Turyapada kurang optimal untuk dimanfaatkan dengan perbandingan total Konsumsi Energi Bangunan Pedestal sebesar 7.787.000 kWh/tahun. Hasil potensi dari EBT daya yang dapat disokong oleh PLTB sangat kecil, yaitu 0,00028 %.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Putri. 2022. "Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Alternatif pada Mesjid Tengku Bullah Universitas

Malikussaleh," *Rekayasa Elektrikal dan Energi*, 5(1).

- [2] I. Daut, M. Irwanto, Y. M. Irwan, N. Gomes, N. S. Ahmad, dkk. 2011. "Potential of wind speed for wind power generation in Perlis, Northern Malaysia," *Telkomnika*, vol. 9, no. 2, p. 575.
- [3] A. Bachtiar dan W. Hayattul. 2018. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras," *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Vol. 7, No. 1, Januari 2018.
- [4] Dokumen Peraturan Kementrian PUPR No. 21 tahun 2021.
- [5] Peraturan Gubernur No. 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih.
- [6] SK Gubernur No. 879 Tahun 2022 tentang pedoman Teknis Penyelenggaraan Bangunan Gedung Hijau.
- [7] Dokumen Studi Kelayakan (Feasible Study) Pembangunan Taman Teknologi Komunikasi Bali Smart (2021).
- [8] Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UPL) Pembangunan Taman Teknologi Komunikasi Bali Smart (2021).
- [9] Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 441/KPTS/1998.
- [10] D. B. Priambada, M.D. Surindra, dan B. Prasetyo. 2014. "Kajian Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal Type TSD-500 Pad Variasi Beban," *EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol 10 No. 1 Januari 2014*; 19 – 22.
- [11] L. Bimantara. 2020. "Uji Potensi Kecepatan Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia," *AJIE Asian Journal of Innovation and*

Entrepreneurship (e-ISSN: 2477-0574 ; p-ISSN: 2477-3824) Vol. 05, Issue. 01, January 2020.

- [12] Dokumen Peraturan Kementrian PUPR No. 21 tahun 2021.
- [13] F. Aryanto, I. M. Mara, M. Nuarsa. 2013. "Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal,". *Dinamika Teknik Mesin, Volume 3 No. 1 Januari.*
- [14] B. Tjasyono. 2006. "Meteorologi Indonesia Volume I Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer,". *Badan Meteorologi dan Geofisika.*
- [15] L. Abdurrahman. 2015. "Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Desa Ciheras Cipatujuh Tasikmalaya Ditinjau Dari Aspek Pembangkit Energi,".
- [16] I. W. D. Arieyasa, C. G. I. Partha, dan I W. Sukerayasa. 2020. "Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Wind Turbine TSD-500 dan GH – 0.5K Di Pilot Smart Grid Teknik Elektro Universitas Udayana,". *Jurnal SPEKTRUM Teknik Elektro, Vol. 7, No. 1, Maret 2020.*
- [17] E. M. Kinaci. 2011. "Numerical and Experimental Investigation of The Rotor Blades of An HAWT With A Profile HKAS Inspired by a Maple Seed,".