

Proyeksi Kecepatan Angin Dan Probabilitas Terjadinya Intermittensi Di Grid 3 Nusa, Pulau Nusa Penida Menggunakan Metode *Principal Component Analysis*

1st Adisti Wulanditya
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

adisti@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Sudarmono Sasmono
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ssasmono@telkomuniversity.ac.id

3rd Desri Kristina Silalahi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

desrikristina@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Dalam pemenuhan pasokan energi listrik, Pulau Nusa Penida menggunakan PLTD berbahan bakar Marine Fuel Oil (MFO) dengan daya yang dihasilkan 10 MW. Namun hal ini menyebabkan biaya bahan bakar yang tinggi dapat memicu biaya pokok penyediaan pembangkitan listrik yang cukup tinggi pula. Untuk mengatasi persoalan tersebut diharapkan di Pulau Nusa Penida dapat mengembangkan pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan energi baru terbarukan (*Renewable Energy*) dikarenakan biaya bahan bakarnya bernilai 0.

Penelitian proyeksi kecepatan angin ini dapat ditentukan dengan metode *Principal Component Analysis* yang menggunakan beberapa data kecepatan angin dan parameter atmosfer lainnya di Pulau Nusa Penida. Dengan metode ini parameter lain yang digunakan yaitu *temperature, relative humidity, specific humidity, irradiation, radiation, air density, precipitation*, dan *surface pressure*. Data yang didapatkan akan diolah menggunakan perangkat lunak SPSS sehingga didapatkan pemodelan dalam bentuk distribusi statistik. Model akhir memasukkan faktor ketidakpastian yang disimulasikan menggunakan simulasi Monte Carlo dengan bantuan perangkat lunak Crystal Ball.

Setelah dilakukan penelitian didapatkan hasil yaitu empat variabel yang berpengaruh terhadap kecepatan angin, pemodelan korelasi kecepatan angin, dan probabilitas intermitensi terjadi dengan skenario *worst case*.

Kata kunci— *energi angin, proyeksi kecepatan angin, Principal Component Analysis, simulasi Monte Carlo*

I. PENDAHULUAN

Saat ini pemenuhan kebutuhan pasokan energi di Nusa Penida bertumpu pada pembangkit listrik tenaga diesel yang berbahan bakar Marine Fuel Oil (MFO) di Kutampi. Ada 7 unit mesin yang beroperasi sejak 29 Agustus 2018 dengan daya listrik yang dihasilkan 10 MW. Tercatat pada September 2018 lalu, beban puncak listrik di Nusa Penida sebesar 7,3 MW. Namun hal ini menyebabkan biaya bahan bakar yang tinggi dapat memicu biaya pokok penyediaan pembangkitan listrik yang cukup tinggi pula. Untuk mengatasi persoalan tersebut diharapkan di Pulau Nusa Penida dapat mengembangkan pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan energi baru terbarukan (*Renewable Energy*) dikarenakan biaya bahan bakarnya bernilai 0.

Munculnya gagasan pembangunan PLTB di Pulau Nusa Penida merupakan pemanfaatan energi angin sebagai dasar pertimbangan

desain dan penerapan sistem. Dengan rata-rata kecepatan angin 4,5 m/s, energi angin di Pulau Nusa Penida dapat digunakan untuk membangkitkan pembangkit listrik. Namun kecepatan angin dapat berubah-ubah sehingga mengakibatkan adanya kondisi intermitensi. Pola terjadinya intermitensi rata-rata berada di rentang kecepatan 3 m/s sampai 20 m/s, sehingga hal ini berdampak pada daya yang dihasilkan pun juga berubah-ubah.

Penelitian ini akan menggunakan metode *Principal Component Analysis* dalam memodelkan korelasi kecepatan angin dengan parameter lainnya. Lalu digunakan simulasi Monte Carlo dalam memproyeksi kecepatan angin dimasa yang akan datang, selanjutnya menghitung probabilitas terjadinya intermitensi. Sehingga akan memudahkan perencanaan pembangunan PLTB di Pulau Nusa Penida.

II. KAJIAN TEORI

Penelitian dirancang untuk memproyeksi kecepatan angin dimasa yang akan datang dan mengetahui probabilitas terjadinya intermitensi dengan memperhatikan skenario yang dibuat agar pembangunan pembangkit listrik tersebut dapat optimal, maka sebelum melakukan penelitian ada beberapa teori yang harus diketahui.

A. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Angin

Angin memiliki faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan angin. Berikut beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan angin yaitu:

1. *Humidity* (Kelembaban)
2. *Radiation* (Radiasi) dan *Irradiation* (Iradiasi)
3. *Temperature* (Suhu)
4. *Surface Pressure* (Tekanan Permukaan)
5. *Air Density* (Kerapatan Udara)
6. *Precipitation* (Presipitasi)

B. Intermittensi

Sebagian besar turbin angin dapat menghasilkan *output* daya listrik pada rentang kecepatan *cut-in* sekitar 3-4 m/s dan *cut-out* pada 25 m/s. Jika kecepatan angin melebihi 25 m/s akan merusak rotor.

Perubahan kecepatan angin dari rentang *cut-in speed* sampai *rated speed* menyebabkan daya aktif yang dihasilkan pun juga tidak tetap sehingga menyebabkan kondisi intermitensi.

C. Analisis Data Kecepatan Angin

Data kecepatan angin yang didapatkan akan melewati uji statistik, lalu *output* sebagai pemilihan *input* untuk pemodelan korelasi kecepatan angin menggunakan *software* SPSS.

Penelitian menggunakan metode *Principal Component Analysis*

lalu dilakukan analisis data yaitu:

1. Penelitian variabel-variabel yang telah ditentukan menggunakan uji Kaiser Meyer Olkin (KMO) untuk melihat kecukupan sampel secara keseluruhan. Indeks ini membandingkan besarnya koefisien korelasi terobservasi dengan besarnya koefisien korelasi parsial.
2. Bartlett's test adalah tes statistik untuk keseluruhan signifikansi dari semua korelasi didalam suatu matriks korelasi.
3. Uji *Measure Sampling Adequacy* (MSA) untuk mengetahui besar korelasi parsial antar variabel dengan memperhatikan angka MSA berkisar antara 0 sampai 1 dengan kriteria sebagai berikut:
 - MSA = 1, variabel tersebut dapat dianalisis lebih lanjut
 - MSA > 0,5; variabel tersebut masih bisa dianalisis lebih lanjut
 - MSA < 0,5; variabel tidak dapat dianalisis lebih lanjut
 Jika ditemukan nilai MSA dibawah 0,5 maka harus melakukan reduksi variabel sampai tidak ditemukan nilai MSA dibawah 0,5 dari setiap variabelnya.
4. Melakukan proses *Factoring* atau menurunkan satu atau lebih faktor dari variabel-variabel yang telah diuji.
5. Melihat bobot faktor (*factor loading*) yaitu menentukan jumlah faktor yang akan terbentuk dengan melihat nilai eigen yang lebih dari satu.
6. Interpretasi hasil PCA dengan merumuskan model faktor.

PCA adalah pendekatan non parametrik yang mengandalkan deret N untuk mendapatkan estimasi yang konsisten. Secara umum, PCA memiliki persamaan umum sebagai berikut:

$$yt = \alpha pt + \beta qt + \dots + \gamma rt$$

Keterangan:

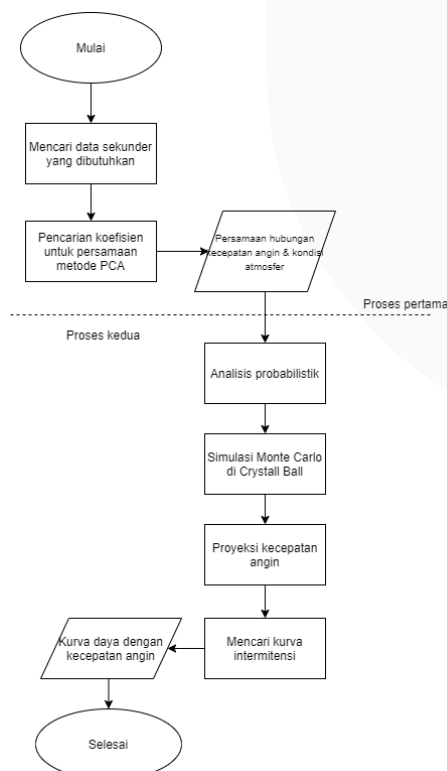
y = objek yang diteliti

p, q, r = variabel yang mempengaruhi objek yang akan diteliti

α, β, γ = koefisien

III. METODE

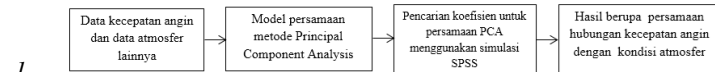
A. Desain Sistem Keseluruhan



Gambar 1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Adapun penjelasannya adalah input berupa data kecepatan angin, data temperatur, kelembaban, dan data meteorologi lainnya yang terangkum dalam data atmosfer. Data yang didapatkan akan diolah dengan bantuan perangkat lunak SPSS dengan menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA). Selanjutnya akan dianalisis dengan memasukkan faktor ketidakpastian menggunakan simulasi Monte Carlo dengan bantuan perangkat lunak Crystal Ball pada hasil yang dikeluarkan oleh perangkat lunak SPSS.

B. Desain Perangkat Lunak



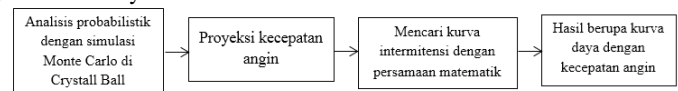
1.

Statistical Product and Service Solutions (SPSS)

Gambar 2 Alur Pemodelan dengan Perangkat Lunak SPSS

Pada Gambar 2, input berupa data kecepatan angin dan data atmosfer lainnya yang didapatkan dari web *Nasa Power*. Berdasarkan persamaan metode PCA, koefisien perlu dicari. Sehingga proses pencarian koefisien untuk memenuhi persamaan tersebut menggunakan simulasi dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan metode PCA dengan bantuan perangkat lunak SPSS berupa deretan angka distribusi statistik.

2. Crystal Ball



Gambar 3 Alur Proyeksi dengan Perangkat Lunak Crystal Ball

Pada Gambar 3, input berupa hasil probabilistik dari simulasi SPSS yang kemudian dimasukkan ke dalam spreadsheet. Hasil yang didapatkan dari simulasi Monte Carlo dengan bantuan perangkat lunak Crystall Ball berupa kurva probabilitas terjadinya kecepatan angin dan data yang mempengaruhinya dimasa yang akan datang.

C. Metode

Penelitian ini akan menggunakan metode *Principal Component Analysis* yang disimulasikan pada SPSS lalu hasil simulasi digunakan untuk memproyeksi kecepatan angin menggunakan simulasi Monte Carlo yang disimulasikan pada Crystall Ball.

a. *Principal Component Analysis* (PCA): PCA merupakan salah satu metode yang memiliki dasar konsep aljabar linier dan geometri aljabar. Tujuan dari metode PCA adalah untuk mengidentifikasi dan menghitung dasar yang nantinya digunakan untuk membentuk kembali kumpulan data. Secara sederhana, PCA dapat dinyatakan sebagai teknik reduksi data. Dalam penelitian ini, PCA dapat mengekstrak berbagai pola kecepatan angin yang berguna untuk menghitung korelasi dalam deret waktu untuk pemilihan input dalam pemodelan.

b. Simulasi Monte Carlo: Secara matematis metode Monte Carlo dapat didefinisikan sebagai metode yang menggunakan bilangan acak sebagai alat untuk menghitung sesuatu yang bukan bilangan acak. Prinsip dasar simulasi Monte Carlo adalah mengevaluasi model deterministik dengan serangkaian bilangan acak sebagai input.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Data kecepatan angin dan data atmosfer di Pulau Nusa Penida menggunakan jenis data sekunder yang diperoleh dengan pencarian melalui web *NASA Power*. Sebelumnya perlu memilih tiga sampel daerah di Pulau Nusa Penida dengan titik koordinat yang berbeda yang memiliki rata-rata kecepatan angin tertinggi melalui web *Global Wind Atlas*.

Selanjutnya yaitu mencari data kecepatan angin dan data

atmosfer lainnya dari tiga daerah yang telah dipilih. Setelah pencarian, maka didapatkan data berupa *wind speed*, *relative humidity*, *specific humidity*, *temperature*, *irradiation*, *radiation*, *surface pressure*, *precipitation* dan *air density* dalam rentang waktu tahun 2019 sampai awal tahun 2020 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Penelitian

No	Tanggal dan Waktu	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)	Specific Humidity (g/kg)	Temperature (C)	Irradiation (J/m ²)	Radiation (W/m ²)	Surface Pressure (kPa)	Precipitation (mm/hour)	Air Density (kg/m ³)
1	01-01-2019 00.00	1,37	82,25	19,47	28,07	5021,10	780,71	100,84	1,83	1,15
2	02-01-2019 01.00	1,33	82,06	19,47	28,09	716,42	1033,75	100,86	1,21	1,15
3	03-01-2019 02.00	0,83	82,25	19,47	28,04	879,92	1222,00	100,88	0,72	1,15
4	04-01-2019 03.00	0,75	82,75	19,53	27,99	979,35	1332,82	100,86	0,42	1,15
5	05-01-2019 04.00	1,29	83,75	19,59	27,82	1006,7	1358,34	100,77	0,23	1,15
6	06-01-2019 05.00	1,37	85,94	19,47	28,07	959,4	1297,40	100,61	0,15	1,15
7	07-01-2019 06.00	1,33	87,81	19,47	28,09	841,48	1153,68	100,58	0,13	1,15
8	08-01-2019 07.00	0,83	88,94	19,47	28,04	662,15	936,93	100,60	0,13	1,15
9	09-01-2019 08.00	0,75	89,56	19,53	27,99	438,1	662,14	100,68	0,12	1,15
10	10-01-2019 09.00	1,29	89,62	19,59	27,82	196,33	348,08	100,78	0,12	1,15
26280	01-01-2020 23.00	0,72	77,88	19,23	28,78	242,77	480,49	100,91	0,51	1,15

B. Pemodelan Korelasi Kecepatan Angin

Jika proses pengumpulan data selesai, selanjutnya dilakukan penelitian data di *software* SPSS dengan menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA). PCA digunakan karena metode ini dapat dinyatakan sebagai teknik reduksi data. Sehingga langkah penelitian dilakukan guna mencari variabel apa saja yang sangat berkorelasi dengan kecepatan angin.

Tabel 2 Hasil Uji KMO dan Bartlett's Test

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy	,535
Bartlett's Test of Sphericity Approx. Chi-Square	409948,063
df	28
Sig.	,000

Tabel 3 Nilai MSA untuk 8 Variabel

Faktor	Variabel	Nilai MSA
1	Temperature	0,504
2	Relative Humidity	0,256
3	Specific Humidity	0,483
4	Irradiation	0,569
5	Radiation	0,569
6	Air Density	0,737
7	Precipitation	0,812
8	Surface Pressure	0,613

Pada Tabel 3, terlihat bahwa ada angka MSA memiliki nilai dibawah 0,5 yaitu variabel *relative humidity* dan *specific humidity* sehingga data perlu diuji ulang dengan tidak mengikutsertakan dua variabel tersebut.

Tabel 4 Hasil Uji KMO dan Bartlett's Test

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy	,530
Bartlett's Test of Sphericity Approx. Chi-Square	240851,873
df	15
Sig.	,000

Tabel 5 Nilai MSA untuk 6 Variabel

Faktor	Variabel	Nilai MSA
1	Temperature	0,536
2	Irradiation	0,518

3	Radiation	0,520
4	Air Density	0,523
5	Precipitation	0,793
6	Surface Pressure	0,529

Tabel 6 Nilai-nilai Eigen (Factoring)

Komponen	Total	% Varians	% Kumulatif
1	2,926632	48,777201	48,777201
2	1,869128	31,152141	79,929341
3	0,899062	14,984366	94,913707
4	0,283933	4,732224	99,645931
5	0,017173	0,286217	99,932148
6	0,004071	0,067852	100,000000

Pada Tabel 6, dapat diketahui bahwa komponen baru yang dibentuk adalah sebanyak dua komponen dengan nilai eigen lebih besar dari 1.

Tabel 7 Loading Factor

Variabel	Komponen	
	1	2
Temperature	-0,906	0,215
Irradiation	-0,037	0,995
Radiation	-0,053	0,994
Air Density	0,966	-0,164
Precipitation	-0,398	-0,078
Surface Pressure	0,906	0,007

Pada Tabel 7, dapat diketahui bahwa masing-masing variabel memiliki *loading factor* diatas 0,5 terhadap komponen utamanya sehingga dianggap signifikan dan masing-masing didua komponen utama telah memiliki faktor terdiri dari dua variabel.

Tabel 8 Pengelompokan Variabel

Faktor	Variabel	Nama Komponen
1	Air Density	KU1
	Surface Pressure	
2	Irradiation	KU2
	Radiation	

Setelah didapatkan dua komponen baru dari hasil pengelompokan variabel, selanjutnya dapat dirumuskan persamaan analisis komponen utama sesuai dengan persamaan umum yang mendasarinya.

• Komponen Utama 1 (KU1)

$$KU1 = -0,906X_1 - 0,037X_2 - 0,053X_3 + 0,966X_4 - 0,398X_5 + 0,906X_6$$

KU1 memiliki indikator terkuat yaitu *air density* dan *surface pressure*.

• Komponen Utama 2 (KU2)

$$KU2 = 0,215X_1 + 0,995X_2 + 0,994X_3 - 0,164X_4 - 0,078X_5 + 0,007X_6$$

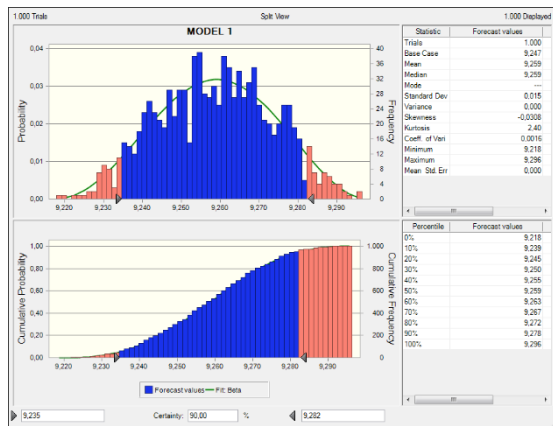
KU2 memiliki indikator terkuat yaitu *irradiation* dan *radiation*.

C. Proyeksi Data

Setelah melakukan pengumpulan data dan pemodelan, tahap selanjutnya yaitu proyeksi data kecepatan angin dan data atmosfer lainnya. Hal ini bertujuan mencari probabilitas kemungkinan terjadinya kecepatan angin dan faktor yang mempengaruhinya dimasa yang akan datang dengan memasukkan faktor ketidakpastiannya.

Masukkan data penelitian ke model korelasi, sehingga didapatkan dua model korelasi kecepatan angin. Selanjutnya dua model korelasi kecepatan angin diproyeksi menggunakan Crystal Ball.

a. Model 1

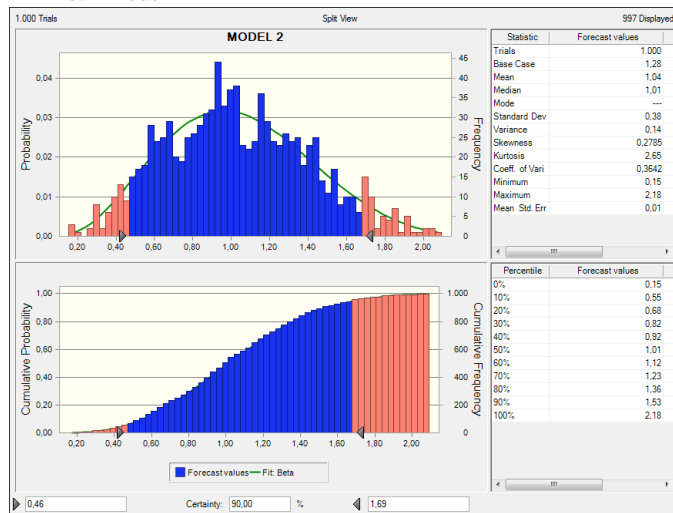


Gambar 4 Tampilan Forecast Chart Model 1

Grafik PDF memiliki fungsi memberikan nilai probabilitas untuk setiap besaran kecepatan angin. Dapat dilihat pada grafik PDF terdapat besaran probabilitas mulai 0,00 sampai 0,004, sehingga disetiap nilai kecepatan angin dapat diketahui nilai probabilitasnya.

Kemudian dari grafik CDF dapat digunakan untuk mengetahui probabilitas kumulatif terjadinya kecepatan angin dimasa yang akan datang dari model 1. Pada penelitian ini diambil probabilitas sebesar 90%, maka kecepatan angin yang berhembus akan terjadi sebesar 9,278 m/s.

b. Model 2



Gambar 5 Tampilan Forecast Chart Model 2

Grafik PDF memiliki fungsi memberikan nilai probabilitas untuk setiap besaran kecepatan angin. Dapat dilihat pada grafik PDF terdapat besaran probabilitas mulai 0,00 sampai 0,004; sehingga disetiap nilai kecepatan angin dapat diketahui nilai probabilitasnya.

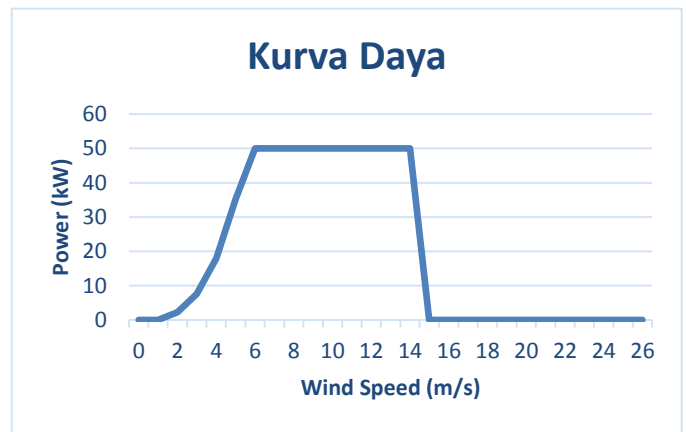
Kemudian pada grafik CDF dapat digunakan untuk mengetahui probabilitas kumulatif terjadinya kecepatan angin dimasa yang akan datang pada model 2. Pada penelitian ini diambil probabilitas sebesar 90%, maka kecepatan angin yang berhembus akan terjadi sebesar 1,53 m/s.

D. Kurva Daya

Kecepatan angin 2 m/s dipilih sebagai *V-Cut In* dengan asumsi persentase frekuensi probabilitas lebih besar sama dengan 90%. Pada kecepatan angin 6 m/s dipilih sebagai batas tetap daya atau *V-rated* dalam menghasilkan daya listrik dengan asumsi persentase frekuensi probabilitas lebih besar sama dengan 10%. Terakhir menentukan batas akhir kecepatan angin untuk menggerakkan turbin angin atau *V-Cut Out* yaitu pada kecepatan 15 m/s. Batas akhir ini dipilih dengan merujuk kurva daya turbin angin komersial skala kecil untuk mencegah kerusakan material turbin angin.

Pada penelitian ini menggunakan asumsi turbin angin yang akan dibuat memiliki kapasitas 50kW dan memiliki jari-jari bilah sebesar 18 meter. Berikut kurva daya dengan perhitungan daya dengan

menggabungkan parameter batasan kecepatan angin.



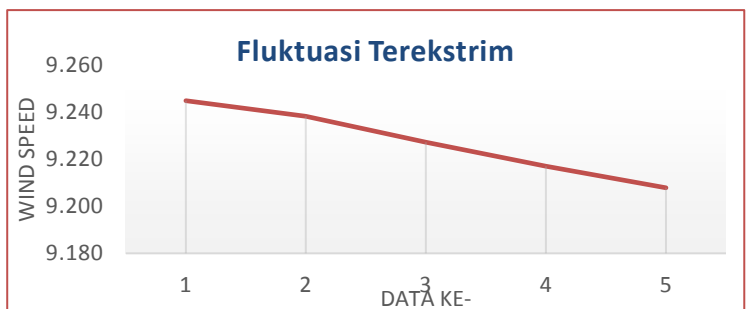
Gambar 6 Kurva Daya Turbin Angin 50kW

E. Skenario

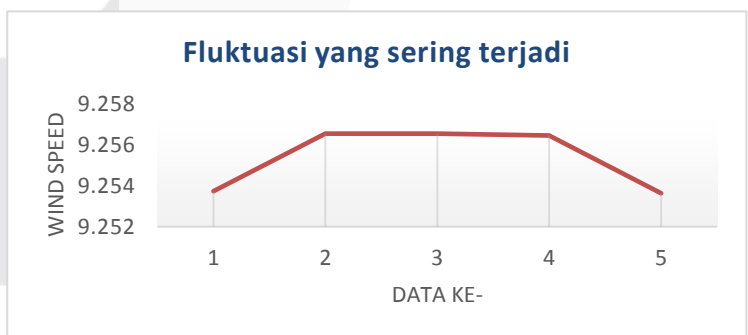
- **Confidence Case**
Keluaran daya aktif yang dihasilkan berada pada rentang V-Rated yang mengindikasikan daya keluaran stabil.
- **Worst Case**
Keluaran daya aktif yang dihasilkan berada pada rentang V-Cut in sampai V-Rated yang mengindikasikan daya keluaran tidak stabil.

F. Intermitensi

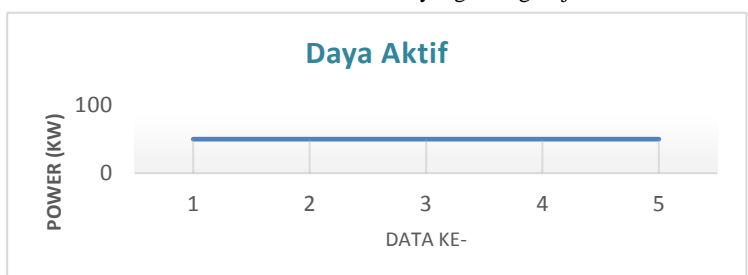
1. Confidence Case



Gambar 7 Grafik Fluktuasi Terekstrim Confidence Case



Gambar 8 Grafik Fluktuasi yang sering terjadi

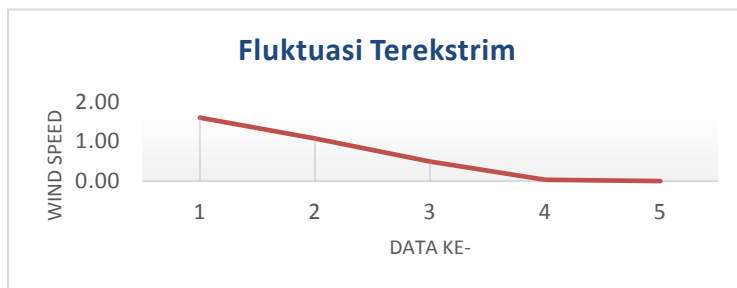


Gambar 9 Kurva Daya Aktif Terekstrim dan yang sering terjadi

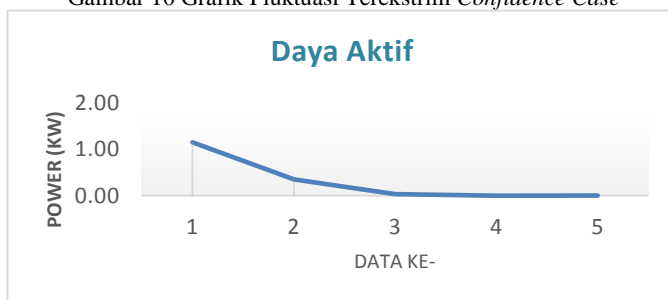
Penurunan terjadi karena terdapat selisih yang signifikan antara data ke-2 dan ke-3 yaitu 9,238 m/s dan 9,227 m/s yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan fluktuasi kecepatan angin yang sering terjadi pada penurunan data ke-2 dan ke-3 dengan nilai kecepatan angin yang sama yaitu 9,257 m/s yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan fluktuasi kecepatan angin terekstrim dan yang sering terjadi menghasilkan keluaran daya aktif yang sama sebesar 50kW yang ditunjukkan pada Gambar 9.

2. Worst Case



Gambar 10 Grafik Fluktuasi Terekstrim Confidence Case



Gambar 11 Kurva Daya Aktif Terekstrim Worst Case

Penurunan terjadi karena terdapat selisih yang signifikan antara data ke-2 dan ke-3 yaitu 1,08 m/s dan 0,49 m/s ditunjukkan pada Gambar 10. Berdasarkan fluktuasi terekstrim yaitu data ke-2 dan ke-3, pada data ini menghasilkan daya aktif sebesar 0,35 kW dan 0,03 kW yang ditunjukkan pada Gambar 11.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pencarian variabel, proyeksi kecepatan angin, kurva daya, dan intermitensi maka didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Penelitian mencari variabel yang berpengaruh pada kecepatan angin menghasilkan beberapa variabel terkuat yaitu *air density*, *surface pressure*, *irradiation*, dan *radiation*.
2. Cara memproyeksi kecepatan angin adalah melakukan simulasi *Monte Carlo* dengan diambil probabilitas berdasarkan keluaran grafik CDF sebesar 90%, maka kecepatan angin yang berhembus pada model 1 sebesar 9,278 m/s dan model 2 sebesar 1,53 m/s.
3. Kemungkinan terjadinya intermitensi dapat dilihat dari fluktuasi kecepatan angin dengan skenario *worst case* yaitu fluktuasi terekstrim 1,08 m/s sampai 0,49 m/s dan fluktuasi kecepatan angin yang sering terjadi sebesar 0,00 m/s.
4. Fluktuasi perubahan kecepatan angin dapat mengakibatkan keluaran daya aktif turbin angin berfluktuasi juga, sehingga berdampak pada kestabilan frekuensi grid.

REFERENSI

- [1] I. K. Sutika, "Bupati Klungkung tinjau pengoperasian PLTD Nusa Penida," *Antara Bali*, 2018. <https://bali.antaranews.com/berita/132346/bupati-klungkung-tinjau-pengoperasian-pltd-nusa-penida> (accessed Sep. 11, 2022).
- [2] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim-Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "EBTK untuk Mitigasi Perubahan Iklim," *ditjenppi.menlhk.go.id*, 2017. <http://ditjenppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/aksi/mitigasi/implementasi/323-pengembangan-ebtk-sebagai-upaya-mitigasi-perubahan-iklim> (accessed Sep. 25, 2021).
- [3] Menteri Negeri dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*. 2018.
- [4] M. Nasrullah and Sriyana, "Harga dan Tarif Listrik PLTN di Dunia," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 12, no. 1, pp. 20–30, 2010.
- [5] N. R. Council, *Assessment of Research Needs for Wind Turbine Rotor Materials Technology*. National Academies Press, 1991. doi: 10.17226/1824.
- [6] M. Wangge, "Penerapan Metode Principal Component Analysis (PCA) Terhadap Faktor-faktor yang Mempengaruhi Lamanya Penyelesaian Skripsi Mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika FKIP UNDANA," *J. Cendekia J. Pendidik. Mat.*, vol. 5, no. 2, pp. 974–988, 2021, doi: 10.31004/cendekia.v5i2.465.
- [7] S. Sasmono, N. I. Sinisuka, M. W. Atmopawiro, and D. Darwanto, "Macro demand spatial approach (MDSA) at spatial demand forecasting for transmission system planning," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 7, no. 2, pp. 193–206, 2015, doi: 10.15676/ijeie.2015.7.2.3.
- [8] A. Fadjar, "Aplikasi Simulasi Monte Carlo dalam Estimasi Biaya Proyek," *SMARTek*, vol. 6, no. 4, pp. 222–227, 2008.