

# Optimalisasi Konfigurasi Turbin Angin Untuk Peningkatan Produktivitas Energi Listrik Dalam Meningkatkan Hasil Pertanian di Kabupaten Pidie Jaya

Teuku Multazam<sup>1\*</sup>, Fakhruddin Ahmad Nasution<sup>2</sup>, Ilham Sahputra<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe

<sup>2</sup>Program Studi Sistem Informasi, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe.

\*Koresponden email: teuku.multazam@unimal.ac.id

Diterima: 5 November 2023

Disetujui: 20 November 2023

## Abstract

Food availability has an important role in the resilience and continuity of community life. The agricultural sector is the main source of food production, especially in relation to rice, potatoes, sweet potatoes, soybeans, vegetables, corn, onions, chilies and beans. Water is the main source in realizing agricultural results, a lack of air supply will certainly have a negative impact on agricultural results that are not optimal. The dry season that hits will have an impact on air shortages, this will of course cause crop failure, making farmers lose money. Various efforts have been made to minimize these losses, one of which is by providing water pumps in their agricultural areas. Utilizing the pump requires continuous electrical energy as the main source to operate it, this will also have an impact on the costs incurred by farmers. The amount of electrical energy produced at a plant is greatly influenced by the optimal configuration factor for placing wind turbines at the location. The value of the optimal configuration is seen based on the high productivity of the electrical energy produced. This research will optimize the placement of wind turbines using 3D – 5D and 5D – 9D turbine configurations. Temporary research results show that the most optimal configuration is using the 5D – 9D model with an energy production cost of 6,083 rupiah per year, and the daily electrical energy produced is 308.08 kilowatts.

**Keywords:** *optimization, electrical energy, wind turbines, configuration, productivity*

## Abstrak

Ketersediaan pangan memiliki peranan penting dalam ketahanan dan keberlangsungan kehidupan masyarakat. Sektor pertanian menjadi andalan utama sumber penghasil pangan terutama yang berkaitan dengan padi, kentang, ubi jalar, kedelai, sayuran, jagung, bawang, cabai, dan kacang-kacangan. Air merupakan sumber utama dalam mewujudkan hasil pertanian, kekurangan pasokan air tentunya akan berdampak buruk hasil pertanian yang tidak optimal. Musim kemarau yang melanda akan berdampak pada kurangnya air, hal ini tentunya akan menyebabkan terjadinya gagal panen sehingga membuat para petani merugi. Berbagai upaya dilakukan untuk meminimalisir terjadinya kerugian tersebut, salah satunya yaitu dengan menyediakan pompa air di areal pertanian milik mereka. Pemanfaatan pompa tersebut membutuhkan energi listrik yang kontinu sebagai sumber utama untuk mengoperasikannya, hal ini juga akan berdampak pada biaya yang dikeluarkan oleh para petani. Jumlah energi listrik yang dihasilkan pada suatu pembangkit sangat dipengaruhi oleh faktor konfigurasi penempatan susunan turbin angin yang optimal pada lokasi, nilai optimal konfigurasi dilihat berdasarkan tingginya produktivitas energi listrik yang dihasilkan. Penelitian ini akan dilakukan optimalisasi penempatan turbin angin dengan menggunakan konfigurasi susunan turbin 3D – 5D, dan 5D – 9D. Hasil penelitian sementara didapatkan bahwa, konfigurasi yang paling optimal yaitu menggunakan model 5D – 9D dengan biaya produksi energi sebesar 6.083 rupiah per tahun, dan energi listrik harian yang dihasilkan sebesar 308.08 kilowatt

**Kata Kunci:** *Optimalisasi, energi listrik, turbin angin, konfigurasi, produktivitas*

## 1. Pendahuluan

Ketersediaan pangan memiliki peranan penting dalam ketahanan dan keberlangsungan kehidupan masyarakat. Sektor pertanian menjadi andalan utama sumber penghasil pangan terutama yang berkaitan dengan padi, kentang, ubi jalar, kedelai, sayuran, jagung, bawang, cabai, dan kacang-kacangan [1].

Air merupakan sumber utama dalam mewujudkan hasil pertanian, kekurangan pasokan air tentunya akan berdampak buruk hasil pertanian yang tidak optimal. Musim kemarau yang melanda akan berdampak pada kurangnya air, hal ini tentunya akan menyebabkan terjadinya gagal panen sehingga membuat para

petani merugi. Berbagai upaya dilakukan untuk meminimalisir terjadinya kerugian tersebut, salah satunya yaitu dengan menyediakan pompa air di areal pertanian milik mereka.

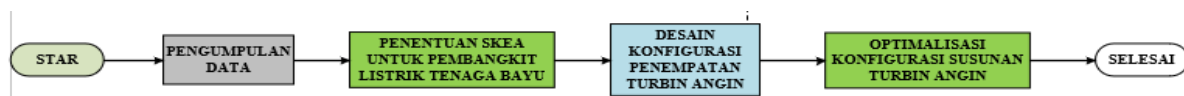
Kondisi demikian juga dialami oleh petani di Provinsi Aceh, terutama yang berada di Kecamatan Tringgadeng, Kabupaten Pidie Jaya, mereka memanfaatkan pompa air untuk mengairi air ke persawahan. Pemanfaatan pompa tersebut membutuhkan energi listrik yang kontinu sebagai sumber utama untuk mengoperasikannya, hal ini juga akan berdampak pada biaya yang dikeluarkan oleh para petani. Kondisi wilayah tersebut dihimpit oleh gunung tentunya memiliki potensi kecepatan angin yang tinggi. Hal ini tentunya menjadi peluang besar untuk dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik tenaga angin [2, 3, 4].

Jumlah energi listrik yang dihasilkan pada suatu pembangkit sangat dipengaruhi oleh faktor konfigurasi penempatan susunan turbin angin yang optimal pada lokasi [5], semakin optimal konfigurasi dilakukan maka semakin besar pula produktivitas energi listrik yang dihasilkan. Konfigurasi yang optimal adalah dilihat berdasarkan tidak adanya angin ulakan (*wake loss*) pada turbin yang dipasang. Angin ulakan (*wake loss*) merupakan kondisi dimana angin mengalami turbulensi. Turbulensi ini terjadi karena angin yang diterima pada turbin angin pertama tidak sama nilai kecepatannya dengan turbin angin kedua dan seterusnya, hal ini terjadi karena akibat pemakaian daya angin oleh rotor turbin yang pertama [6, 7, 8].

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan optimalisasi penempatan turbin angin dengan menggunakan *Wind Atlas Analysis and Application Program* (WAsP) [9]. Dalam penelitian ini nanti akan juga akan mengkaji terkait pengaruh angin ulakan (*wake loss*) terhadap letak turbin angin. Hasil ini selanjutnya akan dijadikan sebagai model konfigurasi yang optimal dalam meningkatkan produktivitas energi listrik dan murah sebagai sumber utama penyuplai energi listrik, sehingga hal ini akan mampu meningkatkan hasil pertanian dan ketahanan pangan milik petani.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang direncanakan terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi pengumpulan data, penentuan perangkat sistem konversi energi angin (SKEA) untuk pembangkit listrik tenaga bayu/angin, desain konfigurasi turbin angin, dan optimalisasi konfigurasi susunan turbin angin seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** konfigurasi susunan turbin angin

### 2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data kecepatan angin melalui pengukuran secara langsung di Kabupaten Pidie Jaya menggunakan *anemomer*. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan pola atau karakter angin harian dan mingguan.



**Gambar 2.** Pengambilan Data Kecepatan Angin di Gampong Mns Mulieng, Meureudu, Kabupaten Pidie Jaya

### 2.2. Penentuan SKEA untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

Penentuan perangkat sistem konversi energi angin (SKEA) yang digunakan untuk menghitung energi listrik pada PLTB didapatkan dari hasil studi literasi setelah mendapatkan pola kecepatan angin pada lokasi penelitian.

### 2.3. Desain Konfigurasi Penempatan Turbin Angin

Sistem konfigurasi susunan turbin angin yang di desain dalam penelitian ini menggunakan model penempatan (*array*) turbin angin idealnya berjarak 5-9 kali diameter rotor pada arah angin dominan untuk

sumbu horizontal (5D-9D) dan 3-5 kali diameter rotor pada sumbu vertikal (3D-5D). Penggunaan kedua konfigurasi ini karena nilai *wake loss* yang dimiliki sangat kecil, sehingga hal ini akan mempercepat dalam mendapatkan nilai hembusan angin secara optimal [referensi].

#### 2.4. Kebutuhan Beban

Pada penelitian ini juga dilakukan identifikasi kebutuhan beban untuk operasional pompa air dalam mengairi persawahan milik petani ketika musim kemarau tiba selama dua bulan. Berdasarkan hasil identifikasi didapatkan bahwa pompa air yang digunakan yaitu merk Robin dengan daya sebesar 26.5 kW dengan waktu operasional yaitu 5 jam /hari, sehingga total energi listrik yang dibutuhkan yaitu sebesar 132.5 kWh dalam setiap hari

#### 2.5. Optimalisasi Konfigurasi Susunan Turbin Angin

Optimalisasi ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi dari konfigurasi susunan turbin angin yang optimal. Nilai optimal konfigurasi ini dilihat berdasarkan produksi energi listrik yang maksimal dengan biaya yang murah.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pengumpulan Data dan Profil Kecepatan Angin.

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu, penentuan titik pengukuran lokasi kecepatan angin. Penentuan titik lokasi ini dilakukan setelah dilaksanakan rapat awal antara tim peneliti dengan pengumpul data di lapangan. Setelah proses penentuan lokasi dilakukan, selanjutnya tim peneliti dan pengumpul data di lapangan menuju lokasi pengukuran untuk melakukan pemasangan anemometer serta pengukuran kecepatan angin secara langsung di lokasi yang telah ditentukan seperti ditampilkan pada foto berikut ini.



Gambar 3. Pengarahan cara operasi alat dan perekaman data di lapangan

#### 3.2. Profil Kecepatan Angin

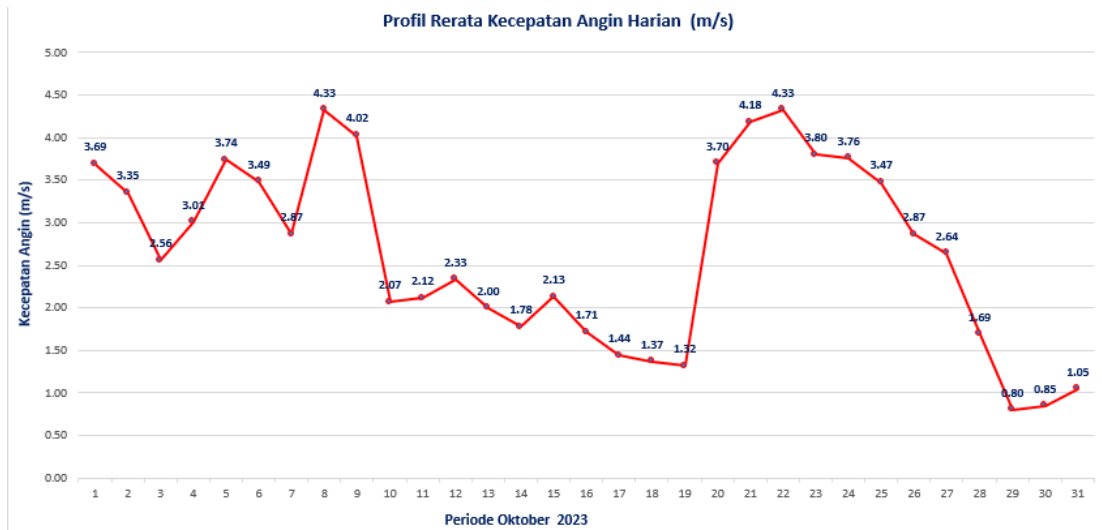
Profil kecepatan angin rerata mingguan periode Oktober 2023 dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata periode Mingguan sangat fluktuatif, kecepatan tertinggi terdapat pada Minggu pertama Oktober 2023 dengan kecepatan rerata angin adalah 4.44 m/s, dan paling rendah terdapat pada Minggu ketiga yaitu 2.38 m/s. Sedangkan untuk Minggu kedua, keempat, dan kelima kecepatan angin rerata adalah 4.17 m/s, 3.69 m/s, dan 4,35 m/s.



Gambar 4. Profil kecepatan angin rerata mingguan periode Oktober 2023.

### 3.3. Profil Rerata Kecepatan Angin Harian

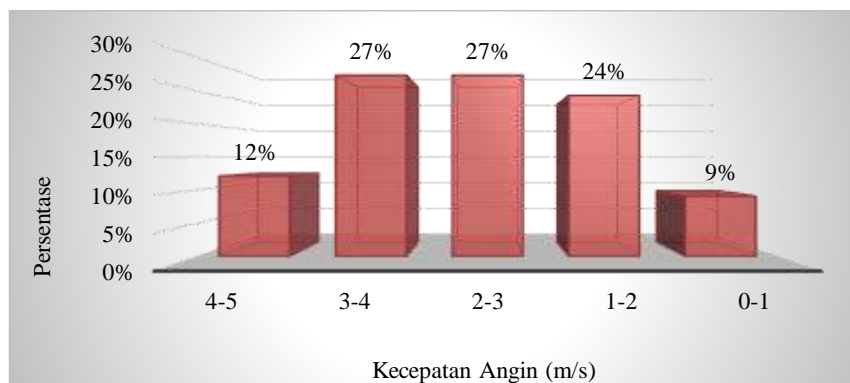
Berdasarkan Gambar 5 yang menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata periode harian sangat fluktuatif, kecepatan tertinggi terdapat pada 8 dan 23 Oktober 2023 dengan nilainya sebesar 4,33 m/s paling rendah terdapat pada 29 Oktober 2023 dengan nilai yaitu sebesar 0,8 m/s.



Gambar 5. Profil kecepatan angin rerata harian periode Oktober 2023

#### 3.3.1. Frekuensi Kecepatan Angin

Distribusi kecepatan angin bertujuan untuk melihat persentase frekuensi kecepatan angin mulai yang tertinggi hingga terendah. Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan bahwa frekuensi kecepatan tertinggi terdapat pada rentang 3 – 4 m/s dan 2 – 3 m/s dengan persentase sebesar 27 persen, sedangkan yang terendah terdapat pada rentang 0 – 1 m/s dengan persentase sebesar 9 persen.



Gambar 6. Distribusi kecepatan angin rerata harian periode Oktober 2023

### 3.4. Penentuan Sistem Konversi Energi Angin

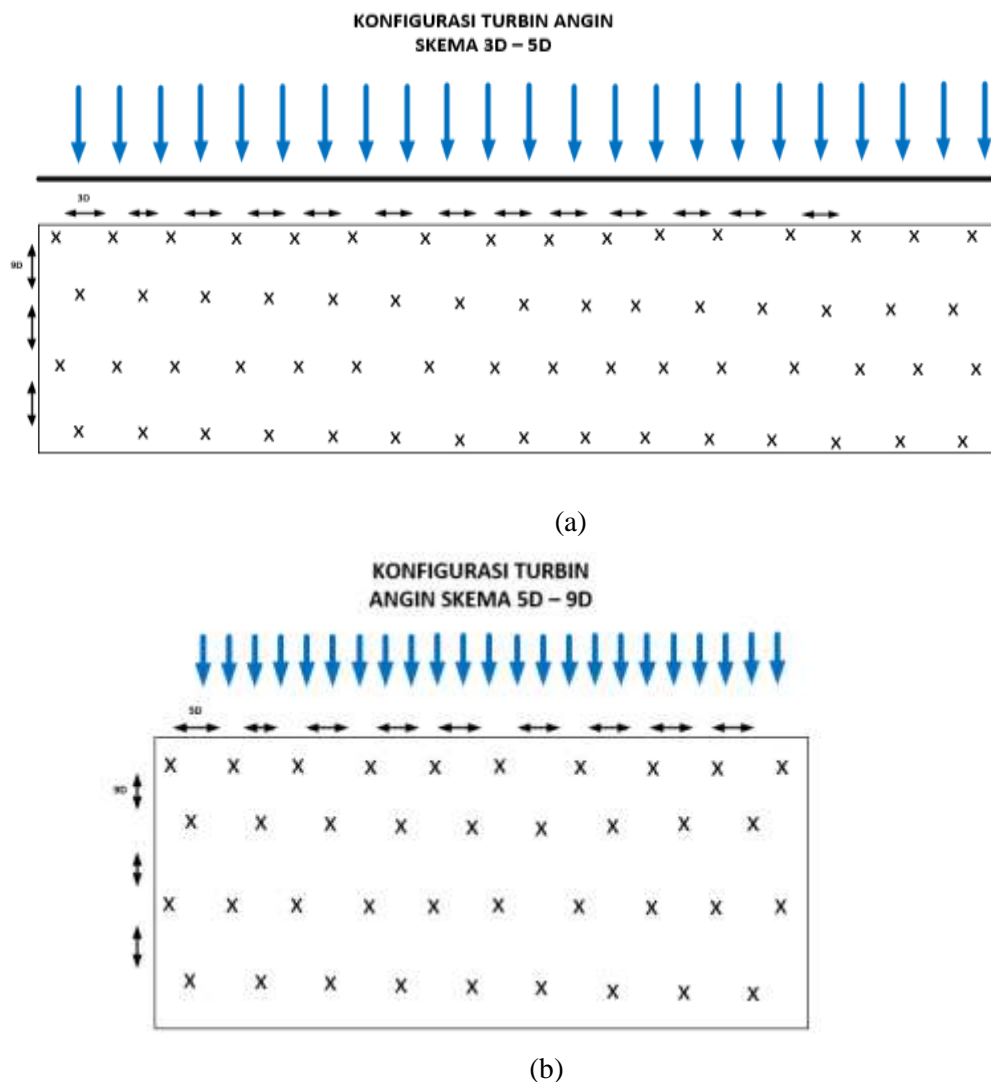
Berdasarkan hasil perhitungan potensi rerata kecepatan angin, maka Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang paling optimal digunakan untuk mengestimasi produksi energi listrik yaitu SKEA jenis TSD 500. Pemilihan tipe ini dilakukan berdasarkan karakteristik kecepatan angin di lokasi penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Sistem Konversi Energi Angin (LAN, 2014)

Nama Sistem	TSD-500
Tipe Turbin	HAWT
Turbine mulai berputar	2.5 m/s
Cut in	3 m/s
Cut out	24 m/s
Daya Maksimum	2 Kw
Efisiensi Generator	90 persen
Coeffisien Power	0.4
Diameter bilah	1 meter
Jumlah bilah	3 Bilah
Berat generator	25 kg
Tinggi tiang kincir angin	4 – 11 m
Perusahaan pembuat generator	NIDEC Japan Corp

### 3.5. Desain Konfigurasi Turbin Angin

Sistem konfigurasi susunan turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan model penempatan (array) turbin angin yang berjarak 5-9 kali diameter rotor pada arah angin dominan untuk sumbu horizontal atau konfigurasi (5D-9D), konfigurasi yang kedua yaitu menggunakan model 3-5 kali diameter rotor pada sumbu vertikal (3D-5D) dengan luas area 2000 m<sup>2</sup> yaitu panjang 50 m dan lebar 40 m. Kedua konfigurasi ini merupakan komposisi yang paling optimal menghasilkan energi listrik yang optimal karena nilai *wake effect* lebih baik dibandingkan dengan lain seperti **Gambar 7**.



Gambar 7.(a) Konfigurasi turbin angin skema 3D – 5D. (b) Konfigurasi turbi angin skema 5D – 9D.

Hasil desain konfigurasi susunan turbin angin didapatkan bahwa, jumlah turbin yang dipasang dengan konfigurasi 3D – 5D yaitu sebanyak 62 unit, sedangkan untuk konfigurasi 5D – 9D maka jumlah turbin yang tersusun sebanyak 38 unit.

### 3.6. Estimasi Potensi Energi Listrik

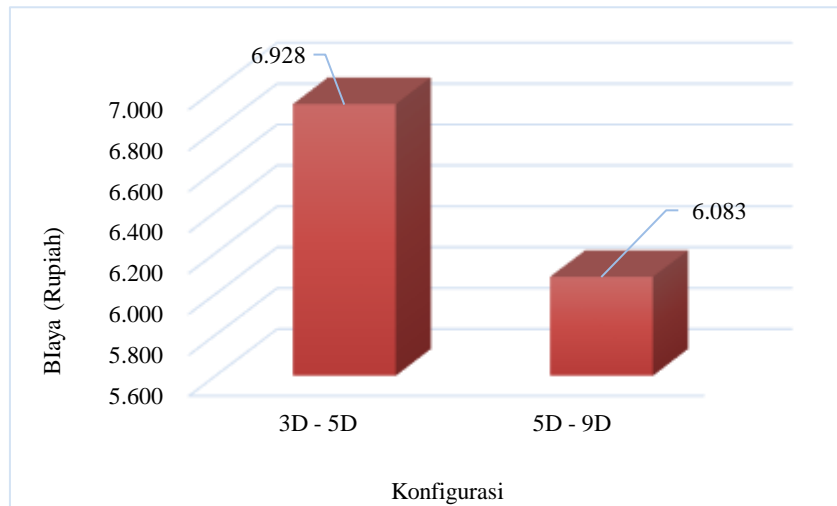
Hasil perhitungan potensi kecepatan angin digunakan untuk mengestimasi potensi produksi energi listrik dengan spesifikasi sistem konversi energi angin (SKEA) konfigurasi susunan turbin dengan menggunakan sudah di desain sebelumnya. Hasil estimasi energi listrik dilakukan dilihat pada **Tabel 2**. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai tertinggi daya listrik yaitu menggunakan konfigurasi 3D – 5D dengan jumlah daya sebesar 41.88 kilo Watt. Sedangkan untuk konfigurasi 5D – 9D jumlah daya yang dihasilkan adalah 25.673 kilowatt.

**Tabel 2.** Hasil estimasi energi listrik menggunakan konfigurasi 3D – 5D dan 5D – 9D.

Oktober 2023	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik (Watt)	
		Skema A (3D-5D)	Skema B (5D-9D)
1	3.69	1941.1	1189.7
2	3.35	1452.5	890.2
3	2.56	648.2	397.3
4	3.87	2239.3	1372.5
5	3.74	2021.1	1238.7
6	3.49	1642.3	1006.6
7	2.97	1012.1	620.3
8	4.33	3136.4	1922.3
9	4.02	2509.9	1538.3
10	2.89	932.5	571.6
11	2.12	368.1	225.6
12	2.33	488.7	299.5
13	2	309.1	189.4
14	1.78	217.9	133.5
15	2.13	373.3	228.8
16	2.71	768.9	471.3
17	2.44	561.2	344.0
18	2.37	514.3	315.2
19	2.67	735.4	450.7
20	3.7	1956.9	1199.4
21	4.18	2821.6	1729.4
22	4.33	3136.4	1922.3
23	3.8	2119.9	1299.3
24	3.76	2053.7	1258.7
25	3.47	1614.2	989.4
26	2.87	913.3	559.8
27	2.64	710.9	435.7
28	3.69	1941.1	1189.7
29	2.8	848.1	519.8
30	2.75	803.5	492.5
31	3.05	1096.2	671.8
<b>Total</b>		<b>41.888,2</b>	<b>25.673, 4</b>

### 3.7. Optimalisasi Konfigurasi Susunan Turbin Angin

Konfigurasi susunan turbin angin yang optimal ini dilihat berdasarkan biaya energi turbin angin (CoE) minimal yang dihasilkan. CoE tersebut didapatkan berdasarkan perbandingan biaya produksi energi yang dihasilkan dengan total energi yang dikeluarkan. Hasil perhitungan didapatkan bahwa konfigurasi paling optimal dapat dilihat berdasarkan **Gambar 8**.



Gambar 8. CoE konfigurasi turbin angin dengan skema 3D – 5D dan 5D – 9D

#### 4. Kesimpulan

Konfigurasi susunan penempatan turbin yang optimal yaitu dengan skema kedua yaitu konfigurasi 5D – 9D dengan jumlah turbin angin yang digunakan sebanyak 32 unit yang menghasilkan produksi energi sebesar 112.449,54 kWh per tahun atau 308.08 kWh per hari dengan biaya persatuan energi yaitu sebesar Rp 6.083. Sementara itu, untuk konfigurasi susunan penempatan turbin 3D -5D, biaya produksi energi yang dihasilkan adalah sebesar Rp 6.928. dengan energi yang dihasilkan per tahun yaitu sebesar 183.470 kWh atau 502.66 kWh

#### 5. Referensi

- [1] Azimatul Khulaifah,(2014).Optimisasi Penempatan Turbin Angin di Area Ladang Angin Menggunakan Algoritma Genetika," Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Distanpang, (2023). Distanpang pijay pinjamkan pompa air untuk atasi kekeringan lahan sawah dipanteraja. diakses melalui <https://aceh.tribunnews.com/2023/01/20/>
- [3] G. Yazdani, (2012). Investigation on available wind energy atTungku beach. Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg. PP 275–279.
- [4] Hasibuan A, Siregar WV, Setiawan A, Daud M. (2021). Pemanfaatan Energi Bayu Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Penerangan Pada Perahu Nelayan. RELE (Rekayasa Elektr Dan Energi) J Tek Elektro. Vol 3(2), PP:85–88.
- [5] Grigorios Marmidis, (2007). Optimal placement of wind turbines in a wind park using Monte Carlo simulation. Renewable Energy. PP 1455 – 1460
- [6] Ismail, (2016). Optimasi Desain Konfigurasi Ladang Angin: Studi Kasus Di Pantai Selatan Purworejo Jawa Tengah. Theses. UGM.
- [7] Sawant, M., Thakare, S., Rao, A. P., Feijóo-Lorenzo, A. E., & Bokde, N. D. (2021). A review on state-of-the-art reviews in wind-turbine-and wind-farm-related topics. *Energies*, 14(8), 2041.
- [8] Gupta, N. (2016). A review on the inclusion of wind generation in power system studies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 59, 530-543.
- [9] Putri, R., Hasibuan, A., Ezwarsyah, E., Jannah, M., Kurniawan, R., Siregar, W. V., & Sayuti, M. S. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Alternatif pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), 39-44.
- [10] Russell McKenna, dkk.,2022. High-resolution large-scale onshore wind energy assessments: A review of potential definitions, methodologies and future research needs, *Renewable Energy*. PP 659 -684.
- [11] Setia Indrabowo, (2016). Desain Konfigurasi Letak Turbin Pada Ladang Angin Pantai Puger Kabupaten Jember, Skripsi. Universitas Jember.
- [12] Teuku Multazam, (2019). "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanen Magnet Generator," *Jurnal Serambi Engineering*. PP 616 – 624.
- [13] Teuku Multazam, (2020). Analisa Model Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Untuk Keberlangsungan Pengeri Ikan Teri Nelayan Aceh Besar," *Jurnal Serambi Engineering*. pp 1378 – 1384.