

Gagasan Futuristik Inovasi Flap Oscillator Electromagnetic Giant Sea Wall Sebagai Optimalisasi Energi di Pesisir Utara Pulau Jawa

Hikmal Akbar Habibie¹, Ananditha Frissila Utama², Angelita Aliyah Putri³, and R. Mohammad Alghaf Dienullah, S.T., M.T.⁴

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

² Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

³ Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

⁴ Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Giant Sea Wall (GSW) merupakan proyek infrastruktur pemerintah yang telah diluncurkan sejak tahun 2014. Proyek ini dibangun membentang sepanjang 946 km dan berkontribusi pada penanggulangan potensi penurunan tanah yang mencapai 20 cm per tahun. Keberadaan proyek GSW tidak hanya berfungsi sebagai infrastruktur proteksi pesisir, tetapi juga membuka peluang besar untuk integrasi teknologi energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan gagasan inovasi pembangkit listrik tenaga gelombang berbasis flap osilasi yang telah ada, dengan mengintegrasikan teknologi elektromagnetik untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi pasang surut di kawasan *Giant Sea Wall*. *Flap Oscillator Electromagnetic (FOE)* dirancang dengan desain array flap berbentuk foil yang memungkinkan alat berosilasi mengikuti gerakan pasang surut berfrekuensi rendah. Berbeda dengan konsep *Oscillating Water Column (OWC)* dan mekanisme *Wave Energy Converter (WEC)* pada turbin konvensional yang telah dikembangkan, FOE merancang flap osilasi dengan sistem elektromagnetik linier yang dapat mengonversi gerakan osilasi horizontal maupun vertikal, serta dapat beroperasi meskipun pada kedalaman air yang berbeda. Sistem flap osilasi pada FOE dirancang untuk meminimalkan gesekan mekanis sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi energi. Desain FOE dirancang mampu menangkap energi dari berbagai arah gelombang, berpotensi menghasilkan daya listrik yang jauh lebih besar per unit luas penangkapannya. Inovasi FOE yang diproyeksikan pada *Giant Sea Wall (GSW)* mengatasi keterbatasan teknologi *existing* dalam penyediaan pasokan energi hijau berkelanjutan serta mengurangi ketergantungan energi fosil. Selain itu, juga dapat mengoptimalkan pemanfaatan ruang dan infrastruktur yang sudah terbangun tanpa memerlukan lahan baru. FOE menjadi gagasan strategis dalam mendukung tercapainya *Sustainable Development Goals* poin 7 (*Affordable and Clean Energy*), poin 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), poin 13 (*Climate Action*), dan poin 14 (*Life Below Water*).

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: 6, September, 2025

Direvisi: 6, September, 2025

Disetujui: 6, September, 2025

KATA KUNCI

Giant Sea Wall;

Elektromagnetik;

Flap Osilasi;

Pembangkit Listrik Gelombang.

KONTAK:

24034010002@student.upnjatim.ac.id

24034010024@student.upnjatim.ac.id

24034010013@student.upnjatim.ac.id

alghaf.ft@upnjatim.ac.id

1. PENDAHULUAN

Transisi energi menjadi aspek fundamental di negara berkembang dan erat kaitannya dengan urgensi atas terjadinya perubahan iklim. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menegaskan bahwa energi menjadi faktor penting pada pencapaian pembangunan berkelanjutan

[1]. Salah satu penyebab meningkatnya tuntutan global dalam terwujudnya transisi energi adalah peningkatan kepadatan penduduk yang secara tidak langsung berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi baik dalam kebutuhan rumah tangga, maupun kebutuhan energi dalam skala yang lebih besar. Menurut data,

Indonesia terus mengalami peningkatan jumlah penduduk sejak tahun 2020 hingga tahun 2025.

Tabel 1. Peningkatan Jumlah Populasi di Indonesia Tahun 2020-2025

Tahun	Jumlah Populasi (Juta)	Laju Pertumbuhan (%)
2020	270,2	1,22
2021	272,7	1,22
2022	275,8	1,17
2023	278,7	1,13
2024	281,6	1,11
2025	284,44	1,09

Terjadinya lonjakan populasi yang ditunjukkan pada **Tabel 1.** mengakibatkan permintaan energi global mengalami peningkatan tahunan di atas rata-rata yaitu sebesar 2,2 persen pada tahun 2024, hal ini didorong oleh meningkatnya konsumsi listrik pada negara berkembang [2]. Pada rentang tahun 2022 hingga 2035, diprediksi bahwa kebutuhan energi Indonesia akan meningkat rata-rata 4,8% per tahun [3]. Konsumsi energi fosil yang semakin tinggi menyebabkan adanya peningkatan emisi gas rumah kaca sehingga iklim menjadi tidak stabil serta meningkatnya suhu bumi [4].

Selain berpengaruh pada kebutuhan energi fosil yang semakin besar, peningkatan kepadatan penduduk juga mempengaruhi kondisi geografis di Indonesia, yaitu bertambahnya volume permukaan air laut yang tidak diimbangi dengan struktur kontruksi yang baik di Indonesia. Indonesia mememiliki garis pantai yang terbentang luas yaitu sepanjang 95.161 km, terpanjang kedua setelah Kanada [5]. Di sisi lain, telah terjadi ancaman serius berupa penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang mencapai rata-rata 20 cm per tahun pada pesisir pantai utara pulau Jawa khususnya Jakarta dan sekitarnya [6].

Fenomena penurunan permukaan tanah ini disebabkan oleh kombinasi faktor geologis alami, ekstraksi air tanah berlebihan, dan beban pembangunan infrastruktur yang masif. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan muka tanah (*subsidence*) pada periode 1990-2016 akibat pengambilan air tanah yang terus meningkat secara signifikan berdasarkan data GPS Geodetik sebesar 0-12 cm/tahun, Ekstensometer 0,66 sm/tahun serta Observasi Visual 1,65 cm/tahun [7].

Penurunan tanah yang terus terjadi turut menjadi ancaman pada meningkatnya risiko banjir rob serta intrusi air laut yang dapat merusak ekosistem pesisir. Tidak hanya itu, terjadinya penurunan tanah dalam jangka panjang dapat memberikan dampak buruk berupa tidak berfungsiya sistem drainase yang berakibat pada sanitasi yang buruk, masalah kesehatan, serta kerusakan habitat lahan basah secara substansial [3].

Merespons tantangan tersebut, pemerintah Indonesia meluncurkan proyek *Giant Sea Wall* (GSW) pada tahun 2014 sebagai bagian dari *Master Plan Penanganan Banjir Jakarta*. Pembangunan GSW dipandang sebagai langkah

strategis untuk melindungi wilayah pesisir dari erosi dan banjir rob, menjaga infrastruktur vital, dan memastikan keamanan serta kesejahteraan masyarakat pesisir dalam jangka panjang. Argumentasi ini didukung oleh urgensi adaptasi terhadap perubahan iklim dan perlunya investasi besar dalam mitigasi bencana [8]. Dibandingkan dengan energi surya dan angin, energi gelombang laut memiliki densitas daya yang lebih tinggi serta karakteristik yang lebih stabil dan konsisten, menjadikannya sumber energi yang ideal untuk integrasi dalam sistem kelistrikan, khususnya di wilayah pesisir dan kepulauan [9]. Selain itu, proyek infrastruktur strategis ini dirancang membentang sepanjang 946 km di sepanjang pantai utara Jawa, dengan konsep pembangunan yang tidak hanya berfokus pada aspek proteksi pantai, tetapi juga pengembangan wilayah berkelanjutan. *Giant Sea Wall* (GSW) didesain sebagai sistem perlindungan pantai terintegrasi yang menggabungkan fungsi tanggul laut, reklamasi terkendali, dan pengembangan kawasan multipurpose [10]. Penelitian lain menegaskan bahwa kawasan reklamasi dapat mendukung aktivitas ekonomi dengan mengakomodasi komunitas nelayan lokal setempat [11].

Panjang garis pantai Indonesia yang mencapai puluhan ribu kilometer menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar dari gelombang laut, dengan estimasi potensi energi dari gelombang laut mencapai sekitar 2,5 GW dalam periode tiga bulan [12]. Energi gelombang laut merupakan sumber energi terbarukan yang konsisten dan dapat diandalkan, berbeda dengan energi surya dan angin yang bersifat intermiten. Energi alternatif dengan menggunakan mekanisme gelombang laut ini memiliki peluang besar apabila diterapkan di wilayah Indonesia. Indonesia termasuk dalam negara maritim dengan kepanjangan garis terluar pantai sekitar 95,181 km [13].

Namun, penelitian mengenai potensi spesifik energi gelombang di berbagai wilayah Indonesia masih sangat terbatas sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan titik-titik potensi yang lebih detail [14]. Kesenjangan dalam penelitian saat ini terletak pada minimnya teknologi *Wave Energy Converter* yang mampu beradaptasi dengan karakteristik gelombang perairan Indonesia yang memiliki variasi frekuensi.

Untuk mengatasi kesenjangan yang terjadi, penulis mengaggas inovasi bernama FOE (*Flap Oscillator Electromagnetic*) yang mengembangkan sistem flap berosilasi yang menggunakan teknologi elektromagnetik linier untuk mengubah pergerakan osilasi baik secara horizontal maupun vertikal menjadi energi listrik.

Kontribusi utama dalam penelitian ini berdasar pada beberapa aspek penting yaitu yang pertama, pengembangan sistem FOE yang dapat berfungsi pada berbagai tingkat kedalaman air yang bervariasi memberikan manfaat signifikan dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi gelombang. Kedua, rancangan FOE

dibuat dengan kemampuan untuk menangkap energi gelombang dari segala arah, sehingga berpotensi menghasilkan output daya listrik yang signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan luas area penangkapan yang digunakan. Ketiga, implementasi teknologi FOE diharapkan dapat berkontribusi dalam mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) khususnya poin 7 (*Affordable and Clean Energy*), poin 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), poin 13 (*Climate Action*), dan poin 14 (*Life Below Water*) sebagai solusi inovatif transisi energi berkelanjutan di Indonesia.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menganalisis sistem *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE) dengan mekanisme kerja teknologi elektromagnetik linier yang dapat mengatasi keterbatasan teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang existing dan mengoptimalkan konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik. Melalui pengembangan inovasi yang terperinci, diharapkan permasalahan transisi energi di Indonesia dapat teratasi dengan solusi yang tepat dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Pada bab ini, membahas tentang beberapa tahap perencanaan dalam pengembangan gagasan *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE)

A. Dataset

Perancangan gagasan *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE) menggunakan beberapa parameter yang diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan model matematis dalam konversi energi gelombang yang akurat sehingga dapat digunakan untuk mendapatkan estimasi output daya yang dihasilkan oleh sistem FOE. Untuk memperoleh perhitungan energi, ditentukan parameter karakteristik gelombang air laut serta teknis dalam permodelan perhitungan FOE.

Tabel 2. Parameter gelombang dan sistem FOE

Variabel	Unit	Nilai
Periode energi gelombang (Te)	s	6
Tinggi Gelombang Signifikan (Hs)	m	0,7
Panjang Giant Sea Wall	km	946
Penurunan muka tanah maksimum	cm/tahun	-21,9985575
Lebar flap (W) - A	m	6
Lebar flap (W) - B	m	20
Efisiensi elektronik daya	%	95

<i>Efisiensi mekanik-elektrik</i>	%	70
Konstanta daya gelombang	-	0,49
Capture Width Rasio (CWR)	%	25

B. Pengumpulan Data

Dalam analisis rancangan *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE) sebagai sistem untuk optimalisasi energi di pesisir utara Pulau Jawa, berbagai parameter fisik dan hidrodinamik dari gelombang laut berdasarkan **Tabel 2**, menjadi komponen penting dalam perumusan model matematis. Parameter utama dalam penentuan dasar perhitungan energi potensial gelombang menggunakan tinggi gelombang signifikan (0,7 m). Periode energi gelombang (6 s) adalah parameter temporal yang mempengaruhi karakteristik dinamis energi gelombang dan frekuensi osilasi flap. Parameter ini berperan dalam menentukan besaran transfer energi dari gelombang ke sistem mekanik. *Capture Width Ratio* (25%) digunakan sebagai acuan efisiensi penangkapan energi oleh flap, serta sebagai batas teoretis kemampuan sistem dalam menyerap energi gelombang yang tersedia. Efisiensi mekanik-elektrik (70%) menunjukkan besarnya konversi energi dari gerakan mekanis flap menjadi energi elektrik melalui generator. Nilai ini digunakan sebagai penetuan output daya aktual sistem, dan berperan dalam konstanta konversi energi total. Efisiensi elektronik daya (95%) merupakan nilai efisiensi komponen elektronik yang digunakan untuk mengkondisikan daya listrik sebelum disalurkan ke grid. Selanjutnya, lebar flap (6 m dan 20 m) merupakan parameter geometris yang menentukan area penangkapan energi gelombang. Lebar flap digunakan untuk menghitung daya total yang dapat diserap, yang sangat krusial dalam pemodelan matematis kapasitas sistem FOE. Terakhir, konstanta daya gelombang (0,49) memberikan koefisien konversi standar dalam perhitungan daya gelombang per meter dan menjadi referensi dalam menentukan potensi energi tersedia. Keseluruhan parameter ini digunakan dalam membentuk model matematis yang merepresentasikan dinamika konversi energi gelombang menjadi energi listrik.

C. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan beberapa parameter yang diperlukan pada sub bab sebelumnya, selanjutnya memodelkannya secara matematis melalui dua bagian yaitu pada bagian hidrodinamik gelombang dan konversi elektromagnetiknya. Model matematis kedua bagian tersebut, diperoleh dari prinsip konversi energi gelombang menjadi energi listrik.

Dimana :

Te = Periode energi gelombang (s)

Hs = Tinggi gelombang signifikan (m)

P_m = Daya gelombang per meter (kW/m)

W = Lebar flap (m)

η_{total} = Efisiensi total sistem

dari model perhitungan diatas, dapat diimplementasikan menjadi model matematisnya dalam domain energi.

Bagian Elektrik :

$$P_m = 0,49 \times H_s^2 \times T_e \quad (1)$$

atau

$$P(t) = C \times H(t)^2 \times T(t) \quad (2)$$

Persamaan (1) menyatakan bahwa daya gelombang per meter P_m terdiri dari tiga komponen utama yaitu: konstanta daya gelombang (0,49), kuadrat tinggi gelombang signifikan H_s^2 , dan periode energi gelombang T_e . Persamaan ini bisa ditulis ulang dalam bentuk yang lebih umum seperti pada **Persamaan (2)**, di mana $P(t)$ mewakili daya total, C adalah konstanta daya, $H(t)^2$ adalah komponen kuadrat tinggi gelombang, dan $T(t)$ adalah komponen temporal.

Bagian Mekanik :

$$P_{output} = P_m \times W \times \eta_{total} \quad (3)$$

$$\eta_{total} = CWR \times \eta_{mek} \times \eta_{elk} \quad (4)$$

Bagian elektromagnetik dijelaskan melalui **Persamaan (3)** dan **Persamaan (4)**. **Persamaan (3)** menunjukkan konversi energi dari domain hidrodinamik ke domain elektrik, yaitu bahwa daya output P_{output} yang dihasilkan sistem FOE diperoleh dari perkalian daya gelombang per meter P_m dengan lebar flap W dan efisiensi total η_{total} . Selanjutnya, pada **Persamaan (4)**, ditunjukkan bahwa efisiensi total η_{total} merupakan hasil perkalian dari tiga komponen efisiensi: *Capture Width Ratio* (CWR), efisiensi mekanik η_{mek} , dan efisiensi elektronik η_{elk} .

3. HASIL

D. Akurasi

Dampak penurunan muka tanah terhadap infrastruktur pesisir menjadi salah satu akibat dari ekstraksi air tanah secara masif, beban struktur infrastruktur yang berat di atas tanah lunak, serta ketidakseimbangan antara penurunan tanah dan pengendalian tata air di kawasan urban padat. Hal ini dibuktikan dengan terus terjadinya penurunan muka tanah di kota Jakarta [15].

Tabel 3. Data Penurunan Muka Tanah di Kota Jakarta Tahun 2016

Wilayah	Maksimum (cm/th)	Minimum (cm/th)	Rata-Rata (cm/th)
DKI Jakarta	-21,9985575	0	-
			21,9985575
Jakarta	-16,9627756	-8,9130834	-
Pusat			13,0538497

Jakarta	-19,9509129	-3,6338978	-
Timur			12,1479308
Jakarta	-17,0829862	-3,4615424	-
Barat			11,7355387
Jakarta	-17,7513048	-7,7574022	-
Selatan			13,1615789
Jakarta	-21,9985575	0	-
Utara			21,9985575

Sistem FOE (*Flap Oscillator Electromagnetic*) dianalisis melalui kesesuaian antara proyeksi hasil perhitungan energi dengan prinsip dasar hukum Faraday serta validasi melalui data literatur mengenai efisiensi sistem elektromagnetik.

Tabel 4. Proyeksi Energi Listrik FOE Berdasarkan Mekanisme Induksi Elektromagnetik

Jumlah Unit	Energi per Hari (Wh)	Energi per Bulan (kWh)	Energi per Tahun (kWh)
10 Unit	150 Wh	4.5 kWh	54 kWh
50 Unit	750 Wh	22.5 kWh	270 kWh
100 Unit	1.500 Wh	45 kWh	540 kWh
500 Unit	7.500 Wh	225 kWh	2.700 kWh

Berdasarkan **Tabel 4.**, dalam penelitian ini, proyeksi energi yang dihasilkan FOE menunjukkan tren linier terhadap jumlah unit yang dipasang. Misalnya, dengan 10 unit FOE, energi yang dihasilkan sebesar 150 Wh per hari atau setara 54 kWh per tahun, sedangkan pada 100 unit dapat mencapai 1.500 Wh per hari, dan meningkat hingga 7.500 Wh per hari pada skala 500 unit atau sekitar 2.700 kWh per tahun. Data ini mengindikasikan bahwa penerapan FOE dalam jumlah besar, terutama jika diintegrasikan pada infrastruktur seperti *Giant Sea Wall*, dapat menjadi sumber energi terbarukan yang signifikan bagi kawasan pesisir. Selain itu, rasio peningkatan energi yang linear terhadap jumlah unit menunjukkan efisiensi sistem yang konsisten, sehingga memudahkan perencanaan kapasitas dan estimasi kebutuhan investasi pada skala implementasi yang berbeda.

FOE juga dirancang menggunakan flap osilasi sebagai sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut berbasis gerak osilasi dan teknologi elektromagnetik linier. Komponen utama dalam sistem ini adalah flap berbentuk foil datar atau pelat fleksibel yang dipasang tegak lurus terhadap arah datangnya gelombang laut. Flap ini dihubungkan ke engsel di bagian bawahnya, sehingga dapat bergerak maju-mundur (osilasi) mengikuti tekanan dan dorongan gelombang laut. Gerakan osilasi ini kemudian diubah menjadi energi listrik melalui mekanisme linier berbasis medan magnet dan kumparan konduktor.



Gambar 1. Skema Desain Sistem FOE (*Flap Oscillator Electromagnetic*)

Rancangan *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE) pada **Gambar 1.** memiliki beberapa keunggulan teknis. Pertama, sistem ini mampu mengonversi gerakan horizontal dan vertikal gelombang laut menjadi energi listrik melalui mekanisme elektromagnetik linier yang tidak bergantung pada rotasi, berbeda dengan turbin konvensional. Kedua, flap disusun dalam formasi array modular sehingga dapat menjaring energi dari berbagai arah gelombang dan meningkatkan efisiensi per satuan luas. Ketiga, desainnya fleksibel untuk berbagai kedalaman, baik di wilayah pantai maupun pada struktur tanggul reklamasi seperti *Giant Sea Wall*.

Secara mekanik, flap dibuat dari material komposit ringan tahan korosi seperti fiberglass atau polimer bertulang, sedangkan engsel menggunakan baja nirkarat dengan pelumasan khusus untuk mengurangi friksi. Pada sistem konversi energi, magnet permanen diposisikan berhadapan dengan kumparan statis; pergerakan flap akibat gelombang menggeser magnet relatif terhadap kumparan, menghasilkan perubahan fluks magnetik yang memicu gaya gerak listrik sesuai Hukum Faraday. FOE juga dapat terintegrasi dengan baterai lithium atau superkapasitor untuk menyimpan energi dan mengatasi sifat intermiten gelombang laut.

Selain itu, akurasi hasil penelitian juga didukung oleh data literatur. Sistem elektromagnetik linier mampu mencapai efisiensi konversi energi 70–80% dalam kondisi ideal [16]. Nilai efisiensi ini konsisten dengan asumsi yang digunakan dalam model perhitungan FOE, yaitu 75%. Keselarasan antara data literatur dengan hasil perhitungan menunjukkan bahwa model prediksi yang digunakan dalam penelitian ini valid dan dapat diandalkan untuk memperkirakan potensi energi FOE pada berbagai skala penerapan.

Tidak hanya itu, akurasi desain juga diuji dengan menyesuaikan karakteristik gelombang laut Indonesia. Tinggi gelombang di wilayah barat Lampung berkisar 0,5–2,5 meter dengan daya rata-rata 5–15 kW per meter gelombang, sedangkan wilayah selatan Jawa dan Nusa Tenggara mampu mencapai 20 kW per meter pada musim tertentu [15]. Rancangan FOE yang sensitif terhadap amplitudo rendah hingga sedang menunjukkan akurasi tinggi dalam menyesuaikan diri dengan kondisi gelombang yang umum terjadi di Indonesia.

E. Kinerja

FOE dievaluasi melalui efisiensi konversi energi,

fleksibilitas operasional, dan kemampuan adaptasi terhadap kondisi pesisir Indonesia. Mekanisme kerja *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE) dalam mengonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik didasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik, yakni perubahan fluks magnetik dalam suatu sistem konduktor yang menyebabkan munculnya gaya gerak listrik (GGL). Proses ini pertama kali dijelaskan oleh Michael Faraday melalui hukum Faraday, yang menyatakan bahwa tegangan listrik (ϵ) dapat diinduksi oleh perubahan medan magnet terhadap waktu ($d\Phi/dt$). Persamaan matematis dari prinsip ini dituliskan sebagai:

$$\epsilon = -N(d\Phi/dt)$$

Di mana:

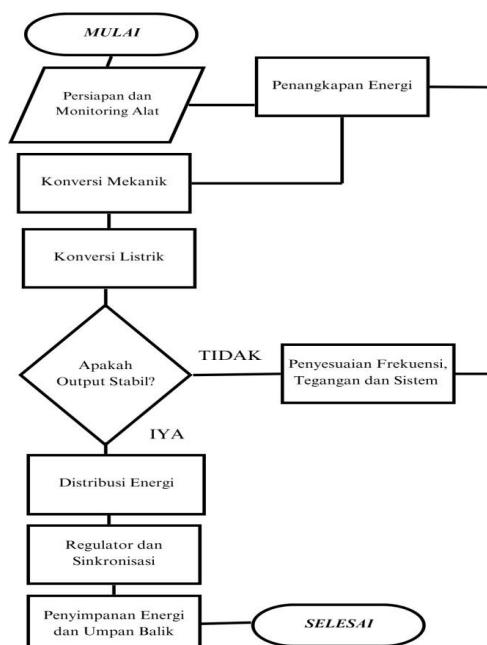
ϵ = gaya gerak listrik (Volt)

N = jumlah lilitan kawat pada kumparan

Φ = fluks magnetik (Weber)

t = waktu (detik)

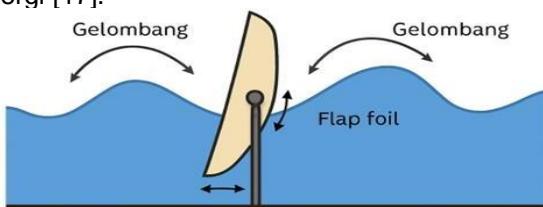
Proses konversi energi dimulai saat flap foil bergerak oleh dorongan gelombang laut, menghasilkan osilasi maju-mundur dan naik-turun yang menggerakkan magnet permanen melewati kumparan tembaga statis. Perubahan fluks magnetik ini menimbulkan GGL dan arus induksi, yang kemudian disalurkan ke sistem penyearah arus (*rectifier*) dan pengatur tegangan (*voltage regulator*) sebelum disimpan dalam sistem penyimpanan energi atau langsung didistribusikan. Untuk memperjelas proses kerja sistem FOE dalam mengonversi energi gelombang menjadi energi listrik, diagram alir mekanisme kerjanya FOE disajikan pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Diagram Alur Konversi Energi pada Sistem FOE

FOE dapat dipasang dalam konfigurasi modular yang memungkinkan ekspansi sesuai kebutuhan energi. Desain (FOE) secara spesifik dikembangkan untuk menyesuaikan diri dengan pola gelombang Indonesia. Pertama, bentuk flap foil dirancang agar memiliki profil hidrodinamis yang memungkinkan gerakan harmonik bahkan saat terkena gelombang rendah. Material pelat flap bersifat fleksibel dan ringan, sehingga dapat bergerak secara efisien dengan gaya dorong minimum. Dengan begitu, alat tetap bisa menghasilkan gerak osilasi bahkan pada gelombang setinggi 30–50 cm, yang umum terjadi di banyak perairan Indonesia.

Sistem engsel dan poros penggerak pada FOE memiliki titik tumpu adaptif, memungkinkan flap berayun dalam rentang sudut lebar, sehingga meningkatkan jangkauan respons terhadap gelombang dari berbagai arah dan ketinggian. Hal ini penting karena gelombang di Indonesia sering kali datang dari arah acak akibat pertemuan arus laut tropis dan turbulensi angin yang tidak beraturan. Selain itu, FOE dirancang untuk mampu memanfaatkan energi dari gelombang yang datang dari berbagai arah (multidirectional), tidak terbatas pada satu arah saja seperti pada mayoritas sistem OWC dan turbin konvensional. *Oscillating Water Column* (OWC) atau kolom osilasi merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan tenaga gelombang sebagai sumber energi [17].



Gambar 3. Ilustrasi Adaptasi FOE terhadap Variasi Gelombang

Berdasarkan [Gambar 3.](#), FOE juga dikembangkan dengan kemampuan fleksibel terhadap variasi gelombang laut. Tidak seperti OWC yang memerlukan kolom air tetap atau AWS (*Archimedes Wave Swing*) yang bekerja optimal di laut dalam, FOE tetap bisa bekerja di laut dangkal dengan tetap menjaga kinerja elektromagnetik liniernya melalui struktur platform ringan atau sistem pondasi terapung berdasarkan aspek adaptasi lingkungannya.

Dalam pengaplikasiannya, sensor gelombang dan kontrol cerdas dalam FOE membuatnya mampu mengatur intensitas konversi energi berdasarkan deteksi amplitudo dan periode gelombang. Sistem ini memungkinkan unit FOE untuk melakukan penyesuaian otomatis terhadap mode operasi, seperti menambah resistansi induksi saat gelombang tinggi, atau mengalihkan energi ke penyimpanan saat gelombang rendah. Adaptasi ini bukan hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga memperpanjang umur alat dengan mengurangi keausan mekanik. Hal ini menjadi

keunggulan karena sebagian besar wilayah pesisir Indonesia memiliki kedalaman yang relatif dangkal.

FOE juga berpotensi besar diterapkan secara luas dan dapat diintegrasikan dengan mendukung pencapaian SDGs poin 7: *Affordable and Clean Energy*, 9: *Industry, Innovation and Infrastructure*, 13: *Climate Action*, serta 14: *Life Below Water*. Selain kontribusi terhadap SDGs, FOE juga mendukung agenda transisi energi nasional sebagaimana tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang menargetkan porsi energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050.

4. PEMBAHASAN

Pembuatan *Giant Sea Wall* (GSW) sebagai infrastruktur strategis nasional dirancang membentang sepanjang pantai utara Jawa dengan struktur beton bertulang, sistem pintu air, dan kawasan reklamasi yang terintegrasi. GSW dirancang menjadi kawasan pembangunan multifungsi yang memadukan aspek rekayasa teknik, pengendalian banjir, pengembangan ekonomi pesisir, serta transformasi energi dan lingkungan. Dalam penelitian disebutkan bahwa proyek GSW berpotensi menjadi kawasan ekonomi baru yang inklusif jika dilaksanakan dengan prinsip tata ruang partisipatif dan adaptif terhadap perubahan iklim [10]. Oleh karena itu, integrasi antara fungsi perlindungan dan produktivitas wilayah menjadi kunci keberhasilan proyek ini dalam jangka panjang.

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) termasuk salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prospek sangat menjanjikan [18]. Oleh karena itu, proyek GSW memerlukan pendekatan sistemik dan transdisipliner, termasuk dengan mengintegrasikan teknologi inovatif seperti pembangkit listrik tenaga gelombang laut berbasis *flap osilasi elektromagnetic* (FOE) sebagai bagian dari diversifikasi fungsi infrastruktur. Dengan mengintegrasikan sistem pembangkit listrik tenaga gelombang ke dalam struktur GSW, kawasan ini tidak hanya menjadi benteng fisik melawan naiknya permukaan laut, tetapi juga menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Hal ini mendukung perwujudan pembangunan pesisir yang resilien, produktif, dan berkelanjutan. GSW bukan lagi sekadar tanggul, tetapi infrastruktur masa depan yang mampu menjadi lokus kolaborasi antara rekayasa teknik, ekonomi biru, dan transformasi energi nasional.

FOE dirancang sebagai sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut berbasis gerak osilasi dan teknologi elektromagnetik linier. Rancangan FOE dibuat dengan beberapa keunggulan teknis yang spesifik. Pertama, sistem ini mampu mengkonversi dua jenis

gerakan gelombang, yaitu gerak horizontal dan gerak vertikal menjadi energi listrik. Hal ini dimungkinkan karena sistem elektromagnetik linier tidak bergantung pada gerakan rotasi, berbeda dengan turbin konvensional. Kedua, flap dirancang dalam formasi array modular yang memungkinkan alat ini menjaring energi dari berbagai arah gelombang, sehingga meningkatkan efisiensi penangkapan energi per satuan luas. Ketiga, sistem ini dapat bekerja di berbagai kedalaman air, baik di dekat pantai maupun pada struktur tanggul reklamasi seperti *Giant Sea Wall*, menjadikannya fleksibel untuk berbagai zona pesisir.

Selanjutnya, hasil penelitian ini sejalan dengan temuan yang membuktikan bahwa sistem elektromagnetik linier mampu menghasilkan efisiensi konversi tinggi [19]. Karakteristik perairan Indonesia dengan pola gelombang yang relatif stabil sepanjang tahun memberikan keunggulan komparatif dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang [20]. FOE menerapkan prinsip ini dengan menambahkan desain modular dan adaptif, menjadikannya lebih sesuai untuk kondisi tropis Indonesia.

Selain itu, desain FOE memungkinkan pengembangan berbasis skala, mulai dari model mikro untuk desa pesisir hingga sistem makro yang terintegrasi dalam proyek besar seperti *Giant Sea Wall*. Hal ini memungkinkan FOE tidak hanya sebagai alat pembangkit energi alternatif, tetapi juga sebagai bagian dari arsitektur infrastruktur kelautan modern yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan. Keunggulan utama mekanisme elektromagnetik linier terletak pada minimnya komponen bergerak kompleks, sehingga gesekan mekanik berkurang, kebutuhan pelumasan diminimalkan, dan umur operasional meningkat. Sistem ini tidak bergantung pada putaran penuh seperti turbin konvensional, sehingga sesuai untuk frekuensi gelombang rendah yang dominan di perairan Indonesia. Pada kondisi fluktuasi gelombang, sistem tetap mampu menghasilkan energi karena respon terhadap perubahan posisi relatif magnet dan kumparan bersifat instan.

Selain efisiensi mekanis, efisiensi konversi FOE ditingkatkan melalui penggunaan magnet neodymium berkekuatan tinggi dan kumparan multi-lapisan yang mampu menghasilkan tegangan lebih besar dalam ruang terbatas. Sistem elektromagnetik linier dapat mencapai efisiensi konversi 70–80% pada kondisi ideal, dan berpotensi ditingkatkan dengan teknologi superkonduktor untuk meminimalkan resistansi listrik [16]. Dengan asumsi efisiensi sistem sebesar 75% berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik Faraday, dapat diproyeksikan

potensi energi listrik yang dihasilkan FOE pada berbagai skala jumlah unit.

FOE juga dikembangkan dengan kemampuan fleksibel terhadap kedalaman laut, karena mengingat kedalaman laut di Indonesia bervariasi. Selain itu, FOE juga dirancang untuk dapat menangkap energi dari gelombang *multidirectional* (berbagai arah), tidak hanya *unidirectional* sebagaimana pada sebagian besar sistem OWC dan turbin konvensional.

Inovasi *Flap Oscillator Electromagnetic* (FOE) tidak hanya dirancang sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut, tetapi juga sebagai bentuk kontribusi nyata dalam mendukung transisi energi bersih yang berkelanjutan di Indonesia. Melalui pendekatan teknologi ramah lingkungan dan berbasis sumber daya lokal, FOE menjawab tantangan global terhadap ketergantungan energi fosil, krisis iklim, serta kebutuhan elektrifikasi daerah pesisir dan terpencil.

Penelitian ini masih berbasis rancangan konseptual dan perhitungan teoretis sehingga belum melalui tahap uji coba eksperimental di lapangan. Nilai efisiensi yang digunakan masih mengacu pada studi literatur sehingga dapat berbeda dengan kondisi riil perairan Indonesia yang memiliki turbulensi tinggi, korosi, serta faktor lingkungan lain yang memengaruhi kinerja sistem. Selain itu, penelitian ini belum mencakup analisis ekonomi rinci terkait biaya instalasi, perawatan, dan umur pakai sistem FOE. Keterbatasan lainnya adalah belum adanya simulasi numerik komprehensif yang melibatkan variasi topografi dasar laut dan intensitas arus lokal. Keterbatasan tersebut tidak mengurangi signifikansi penelitian ini, melainkan menjadi dasar untuk menegaskan relevansi implikasi yang ditawarkan.

Implikasi utama dari penelitian ini adalah peluang pengembangan teknologi FOE sebagai solusi energi bersih di wilayah pesisir. Pertama, FOE dapat mendukung program transisi energi nasional menuju target bauran energi terbarukan 23% pada tahun 2025. Kedua, integrasi FOE dengan *Giant Sea Wall* dapat mengoptimalkan pemanfaatan infrastruktur yang sudah ada sehingga efisiensi lahan meningkat. Ketiga, implementasi FOE berpotensi memberikan dampak sosial positif berupa kemandirian energi di desa pesisir, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada listrik berbasis diesel. Dari aspek lingkungan, FOE menawarkan solusi minim intrusi ekosistem laut karena desainnya yang pasif dibandingkan turbin bawah laut. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademik, tetapi juga membuka peluang penerapan praktis yang signifikan pada sektor energi terbarukan Indonesia.

Implementasi FOE yang terdesentralisasi dan berbasis sumber daya lokal dapat mempercepat realisasi target tersebut secara *bottom-up*, terutama di daerah pesisir

dan kepulauan. Dengan semua keunggulan tersebut, implementasi FOE dalam sistem energi nasional akan memberikan manfaat multidimensi mulai dari peningkatan ketahanan energi, pengurangan risiko bencana iklim, perlindungan lingkungan laut, hingga pemberdayaan ekonomi masyarakat pesisir. Oleh karena itu, FOE bukan hanya solusi teknologis, tetapi juga strategi keberlanjutan yang menyeluruh untuk masa depan energi Indonesia yang inklusif, hijau, dan tangguh terhadap perubahan iklim.

5. KESIMPULAN

Inovasi *Flap Oscillator Electromagnetic* terbukti memiliki potensi besar dalam mengonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik secara berkelanjutan. Prinsip kerja FOE yang menggabungkan osilasi flap dengan sistem elektromagnetik mampu menangkap energi kinetik gelombang secara optimal, sehingga menjadi solusi energi terbarukan yang relevan untuk wilayah pesisir Indonesia yang memiliki intensitas gelombang tinggi.

Penerapan FOE yang terintegrasi dengan proyek GSW memberikan manfaat besar, yaitu memperkuat fungsi pelindung pantai dari abrasi dan banjir rob sekaligus memproduksi energi listrik ramah lingkungan. Integrasi ini juga mendukung efisiensi lahan dan infrastruktur karena memanfaatkan struktur yang sudah ada, sehingga lebih hemat biaya dan minim gangguan ekosistem laut. Implementasi FOE berkontribusi langsung pada target transisi energi nasional dengan menambah porsi energi baru terbarukan (EBT) dalam suatu energi. Selain itu, teknologi ini juga sejalan dengan beberapa tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya poin ke-7 (Energi Bersih dan Terjangkau), poin ke-13 (Penanganan Perubahan Iklim), dan poin ke-14 (Ekosistem Lautan). FOE memiliki peluang untuk dikembangkan secara lebih luas melalui peningkatan efisiensi generator, adaptasi desain untuk berbagai kondisi gelombang, serta penerapan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan *real-time*. Dengan dukungan riset lanjut, kolaborasi lintas sektor, dan kebijakan pemerintah, FOE berpotensi menjadi salah satu pilar utama ketahanan energi di kawasan pesisir Indonesia.

REFERENSI

- [1] Khan, H., Khan, I., & Binh, T. T. (2020). The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach. *Energy Reports*, 859-867.
- [2] *IEA*: Permintaan Energi Glonal Naik 2,2% pada tahun 2024, di atas Rata-rata 10 tahun. (2025). Energyworld.ac.id. Diakses dari <https://energyworld.co.id/2025/03/25/iea-permintaan-energi-global-nlnaik-22-pada-tahun-2024-di-atas-rata-rata-10-tahun/>
- [3] Sanam, Azpah, I. A., Suhaedi, M., Guna, R. A., & Supriyatna, D. (2022). Potensi Energi Laut di Indonesia sebagai Sumber Listrik Baru Terbarukan. *Inovtek Polbeng*, 12(2), 172–178. <https://doi.org/10.35314/ip.v12i2.2862>.
- [4] Pertamina Enegy Institute. (2020). Pertamina Energy Outlook 2020. Jakarta: Pertamina Enegy Institute.
- [5] Arianto, M. F. (2020). Potensi Wilayah Pesisir di Negara Indonesia. *Jurnal Geografi*, 20(20), 1–7.
- [6] Tobing, Y. T. H. (2025, February 5). Penurunan Tanah di Jakarta Tercepat di Dunia, Pramono Galakkan Penanaman Mangrove. Beritasatu.com. Diakses dari <https://www.beritasatu.com/dki-jakarta/2870188/penurunan-tanah-di-jakarta-tercepat-di-dunia-pramono-galakkan-penanaman-mangrove>
- [7] Al Hakim, B., Kongko, W., Wibowo, M., Asvaliantina, V., & Pranowo, W. S. (2024). Hidrodinamika Teluk Jakarta Akibat Pembangunan Jakarta Giant Sea Wall (GSW). *Jurnal Chart Datum*, 10(1), 63–76. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v10i1.324>
- [8] Chairani, C., Agustina, P. P. S., & Budiharto, W. I. (2024). Adaptasi masyarakat pesisir Jakarta Utara terhadap fenomena penurunan muka tanah dan banjir rob. *Gender, Human Development, and Economics*, 1(1), 28–40. <https://doi.org/10.61511/ghde.v1i1.2024>.
- [9] Geovanie, D. G. (2021). *Jurnal locus delicti. Ejournal2.Undiksha.Ac.Id*, 2(April), 1–12.
- [10] Sihombing, G., Putra, I., Lubis, K., Maiya, D., Nasution, S., & Thamrin, H. (2025). Optimalisasi Konversi Energi Gelombang Laut menjadi Listrik Menggunakan Metode Point Absorber untuk Wilayah Pesisir Indonesia *JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]*, 6(3), 2244–2249.
- [11] Agnesia Putri, Julius Richardo, B., Zid, M., Setiawan, C., & Kusuma Setiawan, A. (2025). Transformasi Pesisir Jakarta: Kajian Komprehensif Giant Sea Wall. *Syntax Admiration*, 6(1), 6092–6104.
- [12] Sidik, M., & Sinaga, N. (2023). Potensi Pemanfaatan Gelombang Laut Menjadi Tenaga Listrik Dengan Metoda Oscillating Water Column di Pulau Bawean Gresik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(2), 132–144. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.17306>
- [13] Nagifea, F. Y. (2022). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl) Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia. *Jurnal Technopreneur*

- (JTech), 10(2), 17–24.
<https://doi.org/10.30869/jtech.v10i2.968>
- [14] Ali, I. A., Armono, H. A., Rahmawati, H. D., Ridwan, S. A. & Ariefianto, R. M. (2021). Pemodelan Tinggi Gelombang Untuk Kajian Energi Gelombang Laut Di Perairan Barat Provinsi Lampung. Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim, 15(2):75-84.
- [15] Siregar, C. A., & Lubis, S. (2020). Perencanaan Instrumen Konversi Energi Tenaga Gelombang Dengan Menggunakan Teknik Kolom Osilasi. Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil), 1(1), 63–71. <https://doi.org/10.53695/jm.v1i1.156>
- [16] Simatupang, G., Nurtyawan, R. (2023). Analisis Penurunan Muka Tanah Dki Jakarta Dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar). Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika, 2(2), 215–220. <https://doi.org/10.24198/jif.v2i2.19712>
- [17] Wang, L., Zhang, H., & Liu, Y. (2022). Superconducting electromagnetic systems for marine renewable energy applications. Superconductor Science and Technology, 35(8), 085012.
- [18] Imran, H. A. L. (2023). DISERTASI PEMANFAATAN GERAKAN VERTIKAL GELOMBANG UNTUK PEMOMPAAN AIR LAUT (Utilization of vertical wave motion for seawater pumping).
- [19] Alamsah, A., Wahjudi, A., Moon, P. J., Hamidi, N., & Widhiyanuriyawan, D. (2025). Potensi Energi Arus dan Tinggi Gelombang Laut Indonesia Berdasarkan Data Penginderaan Jauh. Techno-Socio Ekonomika, 18(1), 49–59. <https://doi.org/10.32897/techno.2025.18.1.4087>
- [20] Suprapto, B. Y. (2022). Desain Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Keseimbangan Gyroscope. Jurnal Surya Energy, 5(2), 50–54. <https://doi.org/10.32502/jse.v5i2.3328>

BIOGRAFI PENULIS



Hikmal Akbar Habibie lahir di Situbondo pada tanggal 7 Desember 2005. Ia merupakan mahasiswa aktif Program Studi S1 Teknik Lingkungan, yang mulai menempuh pendidikan tinggi sejak tahun 2024. Riwayat pendidikan formalnya dimulai dari SDN Ranuklindungan 1 yang diselesaikannya pada tahun 2018, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Grati dan lulus pada tahun 2021. Setelah itu, ia menempuh studi di SMA Negeri Unggul 1 Grati dan berhasil menyelesaikan pendidikan pada tahun 2024.

Sejak awal perkuliahan, ia menunjukkan minat dan komitmen yang tinggi terhadap bidang lingkungan, khususnya pada isu pengelolaan sumber daya alam, mitigasi pencemaran, pengendalian limbah, serta pembangunan berkelanjutan berbasis teknologi ramah lingkungan. Kepeduliannya terhadap keberlanjutan mendorongnya untuk aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik maupun non-akademik yang relevan dengan pengembangan kompetensi di bidang lingkungan.

Dengan bekal pengetahuan teoritis dan pengalaman praktis yang dimiliki, ia memiliki aspirasi untuk berkontribusi secara aktif dalam menciptakan solusi lingkungan yang inovatif, aplikatif, serta berdampak nyata bagi masyarakat. Ia juga berkomitmen untuk membangun peran sebagai generasi muda yang peduli, progresif, dan bertanggung jawab terhadap keberlanjutan bumi.



Ananditha Frissila Utama lahir di Ngawi pada 12 November. Saat ini, ia adalah seorang mahasiswa aktif di Program Studi S1 Teknik Lingkungan, memulai perjalanan akademiknya di tingkat perguruan tinggi sejak tahun 2024. Pendidikan formalnya dimulai di SDN Gamping 1, yang berhasil diselesaikannya pada tahun 2018. Ia kemudian melanjutkan ke jenjang menengah di MTsN 2 Sidoarjo, lulus pada tahun 2021. Setelah itu, ia menempuh pendidikan di SMA Al Islam Krian hingga lulus di tahun 2024. Sejak memulai perkuliahan, fokus utamanya adalah pada solusi inovatif untuk tantangan lingkungan saat ini, termasuk pengelolaan limbah, konservasi energi, dan pengembangan teknologi hijau. Dengan kombinasi antara pengetahuan teoritis dan pengalaman praktis, ia bertekad untuk menjadi agen perubahan. Aspirasinya adalah untuk menciptakan dan mengimplementasikan solusi yang tidak hanya efektif, tetapi juga dapat dijangkau dan memberikan dampak positif bagi komunitas. Ia percaya bahwa setiap tindakan kecil dapat berkontribusi pada masa depan yang lebih hijau, dan ia berkomitmen untuk menginspirasi generasi muda lainnya agar turut serta dalam upaya pelestarian lingkungan.



Angelita Aliyah Putri lahir di Sidoarjo pada tanggal 16 Januari 2006. Ia merupakan mahasiswa aktif S-1 Program Studi Teknik Lingkungan, UPN "Veteran" Jawa Timur yang mulai menempuh pendidikan tinggi sejak tahun 2024. Riwayat pendidikan formalnya dimulai dari KB/TK Watutulis di Kabupaten Sidoarjo (2010–2012), kemudian melanjutkan jenjang pendidikan dasar di SDN 1 Seketi (2012–2018), dan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Tarik (2018–2021). Setelah itu, ia menempuh Pendidikan di SMA Negeri 1 Tarik dan lulus pada tahun

2024. Sejak awal perkuliahan, ia menunjukkan minat dan komitmen yang tinggi pada bidang ilmiah, khususnya yang berkaitan dengan pengelolaan lingkungan, konservasi sumber daya alam, penerapan teknologi ramah lingkungan, serta inovasi berkelanjutan dalam penanggulangan permasalahan lingkungan. Ketertarikannya pada dunia penelitian mendorongnya untuk aktif mengikuti berbagai program pengembangan diri untuk memperluas wawasan serta memperdalam pemahaman teknis yang aplikatif dan relevan dengan kebutuhan pembangunan berkelanjutan.

Dengan bekal pengetahuan teoretis dan pengalaman praktis yang dimiliki, ia memiliki aspirasi untuk berkontribusi secara aktif dalam pengembangan solusi lingkungan yang efisien, adaptif terhadap kemajuan teknologi, dan berorientasi pada keberlanjutan. Ia juga berkomitmen untuk membangun peran sebagai generasi Teknik Lingkungan yang inovatif, profesional, dan bertanggung jawab.



R. Mohammad Alghaf Dienullah adalah Dosen pada Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia. Ia meraih gelar Sarjana Teknik Lingkungan (S.T.) dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur dan gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang Teknik Lingkungan dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sejak diangkat sebagai dosen, Alghaf aktif melakukan penelitian dan pembinaan mahasiswa dalam topik pengolahan limbah cair industri, teknologi fotokatalisis, serta pemanfaatan material ramah lingkungan untuk remediasi pencemar. Ia telah menerbitkan sejumlah makalah di prosiding dan jurnal nasional maupun internasional bereputasi, serta terlibat dalam beberapa penelitian kolaboratif terkait teknologi pengolahan air. Alghaf terdaftar di Science and Technology Index (SINTA) dengan bidang keahlian Wastewater Treatment, Advanced Oxidation Processes (AOPs), dan Environmental Remediation.