

PEMANFAATAN SUMBER ENERGI BERSIH SEBAGAI KONVERSI PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK HYBRID MENGGUNAKAN OCEAN WAVE DAN SOLAR POWER PLANT

Aisyah Izmi Rahmayanti, Rendiansyah Nur Subekti

Bakhtiyar Arsada S.T

SMK Ketintang Surabaya

aisyah06.izmi@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat, pemerintah selalu berupaya mengurangi pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil. Namun sangat disayangkan pemanfaatan sumber energi terbarukan di negara kita masih pada tingkatan kurang optimal. Indonesia merupakan negara tropis dan maritim yang memiliki sumber energi bersih serta berlimpah seperti sinar matahari dan juga luasnya pesisir laut. Melihat kondisi dan topografi Indonesia, maka perlu adanya upaya pengoptimalan dalam transisi ke energi bersih karena ramah lingkungan dan tidak secara langsung menghasilkan efek gas rumah kaca. Kami melihat potensi energi terbarukan di kota Surabaya sangat melimpah. Oleh karena itu, kami memiliki gagasan berupa Pembangkit Listrik *Hybrid* mengombinasikan dua sumber energi atau lebih. Dan sebagai pemanfaatan sumber energi yang ada, kami menggunakan konsep *solar power plant* yang bekerja menggunakan kumpulan panel surya yang dapat merubah sinar UV yang dihasilkan matahari menjadi listrik melalui alat *fotovoltaik* dan juga konsep *ocean wave* menggunakan alat *kapal apung* yang terkena gelombang di sekitar dermaga dapat menggerakkan pegas *hidraulik* dibawahnya, serta untuk memutar *generator* agar dapat menghasilkan listrik. Penggabungan dari kedua alat pembangkit listrik ini sangat membantu percepatan penghasilan listrik. Daya listrik yang dihasilkan kedua alat akan dijadikan satu pada alat *control* untuk mengatur banyaknya daya yang masuk dan mengontrol ketika terdapat sisa energi yang kemudian disimpan kedalam baterai. beserta *inverter* berkerja mengubah arus listrik yang semula searah (DC) diubah menjadi arus bolak balik (AC). Inovasi ini diharapkan dapat menjadi solusi permasalahan energi listrik serta menjaga pelestarian lingkungan yang berdampak terhadap kearifan lokal di daerah pesisir Indonesia

Kata Kunci : *Hybrid, solar power plant, kapal apung, energi bersih*





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara berkembang Indonesia menghadapi tantangan serius terkait dengan krisis energi dan dampak buruk perubahan iklim. Menurut data dari *Global Carbon Project* pada tahun 2020 Indonesia menempati peringkat ke-10 negara dengan penghasil emisi karbon terbesar di dunia dengan emisi sebesar 590 MtCO₂. Pasokan energi listrik terus meningkat, sejalan dengan kemajuan ekonomi saat ini. Selain itu pemerintah terus berupaya mengurangi pembangkit atau peralatan yang mempergunakan BBM. Pengurangan emisi karbon di Indonesia perlu bergerak menuju solusi inovatif dalam sektor energi dengan memanfaatkan sumber daya yang ada seperti gelombang laut dan panas matahari. Melihat topografi Negara Indonesia yang terletak dilintang katulistiwa, Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas 1.904.556 km² yang terdiri dari 17.508 pulau, 5,8 juta km² lautan dan 81.290 juta km panjang pantai, maka potensi energi laut terutama gelombang laut dan panas matahari sangat potensial untuk diberdayakan sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan. Kedua sumber energi tersebut nantinya akan mengkombinasikan sumber energi yang mana dapat menghasilkan listrik lebih banyak, sistem ini kami sebut PLTH “Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid”. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid merupakan sistem pembangkit energi listrik dengan menggunakan energi primer yang berupa energi terbarukan yang telah memberikan solusi dalam memenuhi pasokan energi listrik dengan memanfaatkan sinar matahari melalui alat fotovoltaik dan juga gelombang laut melalui alat pelampung. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **“Pemanfaatan Sumber Energi Bersih Sebagai Konversi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Menggunakan Ocean Wave dan Solar Power Plant”** dengan harapan dapat mengoptimalkan sumber daya gelombang laut dan tenaga surya di Indonesia sebagai sumber tenaga listrik ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana Model PLTH sebagai sumber energi listrik terbarukan dalam mengoptimalkan sumber daya gelombang laut dan panas matahari?
2. Bagaimana pengurangan ketergantungan energi tak terbarukan melalui pembuatan PLTH?
3. Bagaimana cara mengintegrasikan teknologi pembangkit tenaga listrik dari energi gelombang laut dan energi solar dalam sistem hybrid untuk mencapai efisiensi maksimum dalam produksi energi listrik ?

1.3 Tujuan Penulisan

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi mengenai :

- 1) Pengurangan penggunaan energi tak terbarukan melalui PLTH
- 2) Pemanfaatan sumber energi bersih sebagai konversi PLTH





INERGYC
2024





INERGYC
2024





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan sumber energi bersih sebagai konversi pembangkit tenaga listrik hybrid yang menggunakan energi gelombang laut dan solar power plant menjadi fokus penting dalam upaya mencari solusi energi yang berkelanjutan. Tinjauan pustaka ini membahas teknologi dan aplikasi terkait, serta tantangan dan potensi dari sistem pembangkit listrik hybrid yang memadukan energi gelombang laut dan solar power plant.

Energi gelombang laut adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan pergerakan gelombang laut untuk menghasilkan listrik. Gelombang laut menawarkan potensi besar untuk menyediakan pasokan energi yang stabil dan dapat diprediksi. Lewis (2006) menjelaskan bahwa energi gelombang laut memiliki keunggulan karena sifatnya yang lebih stabil dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya, seperti energi angin atau solar, yang tergantung pada kondisi cuaca yang bervariasi. Energi gelombang laut dapat memberikan aliran energi yang kontinu, yang penting untuk memastikan kestabilan pasokan listrik.

Namun, teknologi untuk memanfaatkan energi gelombang laut masih menghadapi beberapa tantangan. Cruz (2008) mengidentifikasi bahwa tantangan utama meliputi biaya tinggi untuk pembangunan infrastruktur serta desain yang harus tahan terhadap kondisi laut yang keras. Inovasi dalam desain perangkat konversi energi gelombang laut dan metode untuk mengurangi biaya instalasi adalah area penelitian yang aktif, penting untuk meningkatkan efisiensi dan kelayakan ekonomi teknologi ini.

Sementara itu, solar power plant adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan. Teknologi panel surya telah mengalami kemajuan pesat dalam hal efisiensi dan penurunan biaya produksi. Green et al. (2012) menyebutkan bahwa teknologi fotovoltaik (PV) telah menjadi metode efisien dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Solar power plant memiliki fleksibilitas dalam penerapan, dari sistem atap rumah tangga hingga pembangkit listrik besar, menjadikannya solusi yang fleksibel untuk berbagai kebutuhan.

Penggabungan energi gelombang laut dan solar power plant dalam sistem pembangkit listrik hybrid dapat mengatasi beberapa keterbatasan masing-masing teknologi. Baccini et al. (2011) menyoroti bahwa sistem hybrid yang menggabungkan berbagai sumber energi terbarukan dapat meningkatkan efisiensi dengan memanfaatkan kelebihan masing-masing sumber. Energi gelombang laut dan solar memiliki pola produksi yang saling melengkapi: energi gelombang laut dapat berfungsi saat produksi solar rendah, dan sebaliknya. Integrasi ini membantu mengatasi masalah intermittency atau ketidakstabilan pasokan energi yang sering terjadi pada sistem terbarukan tunggal.





Penelitian mengenai sistem pembangkit listrik hybrid juga menunjukkan pentingnya teknologi penyimpanan energi dan manajemen sistem. Pearce (2014) menyebutkan bahwa teknologi penyimpanan energi, seperti baterai atau flywheel, dapat menyimpan surplus energi selama periode produksi tinggi dan melepaskannya ketika produksi rendah. Teknologi manajemen sistem yang canggih diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan berbagai sumber energi dalam sistem hybrid dan memastikan pasokan listrik yang stabil dan efisien.

Di samping itu, analisis ekonomi dan dampak lingkungan dari sistem hybrid juga sangat penting. Komiyama et al. (2013) menunjukkan bahwa meskipun investasi awal untuk teknologi pembangkit listrik hybrid mungkin tinggi, manfaat jangka panjang dari pengurangan biaya operasi dan pemeliharaan serta pengurangan emisi gas rumah kaca dapat membuat sistem ini menjadi pilihan yang menarik. Sistem pembangkit listrik hybrid yang menggunakan energi gelombang laut dan solar power plant dapat mengurangi jejak karbon dibandingkan dengan sistem berbasis fosil, serta memberikan manfaat ekologis tambahan seperti perlindungan terhadap ekosistem laut dan darat.

Secara keseluruhan, pengembangan sistem pembangkit listrik hybrid yang memanfaatkan energi gelombang laut dan solar power plant menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan. Namun, untuk mengoptimalkan potensi ini, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam teknologi konversi energi, desain sistem hybrid, serta analisis biaya dan manfaat. Tinjauan pustaka ini memberikan landasan untuk memahami tantangan dan peluang yang terkait dengan teknologi energi terbarukan dan integrasinya dalam sistem pembangkit listrik hybrid.

Azizah & Purbawanto (2021) menjelaskan bahwa salah satu sumber energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat di Indonesia adalah energi surya. Sumber energi terbarukan ini menawarkan alternatif untuk persediaan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan ramah lingkungan. Berdasarkan database dari NASA, desa Merden merupakan daerah yang memiliki radiasi sebesar 4,60 kWh/m²/hari serta memiliki potensi energi sebesar 3,75 kWh/kWp per hari. Dengan intensitas yang cukup tinggi, desa ini berpotensi untuk dipasangkan photovoltaic sebagai energi tambahan yang berbasis energi terbarukan.

Pemanfaatan sumber energi bersih, khususnya melalui konversi pembangkit tenaga listrik hybrid yang memadukan energi gelombang laut dan solar power plant, menjadi topik yang semakin penting dalam konteks transisi energi global. Penelitian dan pengembangan di bidang ini bertujuan untuk mengoptimalkan potensi energi terbarukan sambil meminimalkan dampak lingkungan.





Energi gelombang laut telah diidentifikasi sebagai salah satu bentuk energi terbarukan yang memiliki potensi besar. Munandar dkk. (2018) menjelaskan bahwa gelombang laut dihasilkan dari pergerakan angin di permukaan laut, dan dapat dikategorikan menjadi lima tipe: suara, kapiler, gravitasi, internal, dan planet. Gelombang ini menawarkan peluang besar untuk diubah menjadi energi listrik karena sifatnya yang relatif stabil. Namun, gelombang laut memiliki karakteristik yang acak dan kompleks, membuat pengukuran tinggi dan periode gelombang menjadi tantangan tersendiri. Teknologi pengukuran yang akurat seperti penggunaan wave buoy dengan sensor accelerometer dan GPS telah dikembangkan untuk mendapatkan data yang lebih presisi mengenai kondisi gelombang laut (Patra dan Jena, 2013).

Selain itu, teknologi untuk menangkap dan mengkonversi energi gelombang laut masih menghadapi sejumlah tantangan signifikan. Cruz (2008) mencatat bahwa tantangan utama dalam pengembangan teknologi ini termasuk biaya tinggi untuk pembangunan infrastruktur dan kebutuhan untuk desain yang mampu bertahan di lingkungan laut yang keras. Perkembangan teknologi pemantauan gelombang laut selama 40 tahun terakhir, seperti wave buoy, ultrasonik altimeter, dan acoustic doppler current profiler (ADCP), telah memberikan kontribusi penting dalam memahami dinamika gelombang laut dan memungkinkan peningkatan efisiensi dalam konversi energi (Pandian et al., 2010).

Sementara itu, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan teknologi energi terbarukan yang telah berkembang pesat, terutama di negara-negara tropis seperti Indonesia. Nurjaman & Purnama (2022) menjelaskan bahwa PLTS menggunakan prinsip efek photovoltaic untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Di Indonesia, potensi energi surya sangat besar karena intensitas cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun. Hal ini didukung oleh Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2021-2030, yang mendorong pengembangan energi baru terbarukan, termasuk PLTS Rooftop yang diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2019 dan No. 13 Tahun 2019. Jenis PLTS ini dapat beroperasi hingga 20-30 tahun, tergantung pada jenis modul surya yang digunakan, dan hanya memerlukan penggantian inverter satu kali selama masa operasinya.

Teknologi fotovoltaik (PV) telah menjadi salah satu metode paling efisien untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Green et al. (2012) menyebutkan bahwa teknologi PV tidak hanya efisien tetapi juga fleksibel dalam penerapan, baik dalam skala kecil seperti pada rumah tangga, maupun dalam skala besar seperti pada pembangkit listrik komersial. Dengan biaya produksi yang terus menurun dan efisiensi yang meningkat, solar power plant menjadi salah satu solusi energi yang paling menjanjikan untuk masa depan.





Integrasi energi gelombang laut dan solar power plant dalam sistem pembangkit listrik hybrid menawarkan solusi untuk mengatasi beberapa keterbatasan yang ada pada masing-masing teknologi. Menurut Baccini et al. (2011), sistem hybrid dapat meningkatkan efisiensi dengan memanfaatkan keunggulan masing-masing sumber energi. Misalnya, ketika produksi energi dari solar menurun pada malam hari atau saat cuaca mendung, energi gelombang laut dapat menyediakan pasokan energi tambahan, dan sebaliknya. Ini membantu mengatasi masalah intermittency, yaitu ketidakstabilan pasokan energi yang sering terjadi pada sistem tenaga terbarukan tunggal.

Namun, keberhasilan integrasi ini juga bergantung pada teknologi penyimpanan energi dan manajemen sistem yang canggih. Pearce (2014) menekankan bahwa sistem penyimpanan energi seperti baterai atau flywheel sangat penting untuk menyimpan surplus energi yang dihasilkan selama periode produksi tinggi dan melepaskannya saat produksi rendah. Selain itu, teknologi manajemen sistem yang canggih diperlukan untuk memastikan bahwa energi dari berbagai sumber digunakan secara optimal dan pasokan listrik tetap stabil dan efisien.

Selain itu juga dalam jurnan Pembayun & Iman (2022) Energi merupakan kebutuhan vital yang mendasari setiap aspek kehidupan manusia, dan peningkatan penggunaan energi listrik sering kali mencerminkan peningkatan kemakmuran suatu masyarakat. Namun, tantangan utama yang dihadapi dalam penyediaan energi listrik adalah semakin menipisnya cadangan sumber daya energi fosil, terutama minyak bumi. Di Indonesia, kondisi ini semakin mendesak karena diperkirakan cadangan minyak bumi akan habis pada tahun 2030 (ESDM, 2018). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk segera beralih ke energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Salah satu potensi energi terbarukan yang menjanjikan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dengan letak geografis yang berada di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki intensitas radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun, dengan rata-rata radiasi (insolasi) sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Solarex, 1996). Potensi ini memungkinkan PLTS menjadi sumber energi alternatif yang murah dan tersedia secara berkelanjutan. Jenis PLTS yang paling tepat untuk digunakan di lingkungan rumah tangga adalah PLTS Atap, di mana modul fotovoltaik dipasang pada atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan untuk mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Sistem ini dapat dihubungkan ke jaringan distribusi listrik yang sudah ada, seperti jaringan PLN, sehingga dapat mengurangi tagihan listrik bulanan dan berkontribusi dalam upaya global mengurangi emisi gas rumah kaca.

Selain PLTS, teknologi Energi Baru Terbarukan (EBT) lainnya juga memiliki peran penting dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan menangani isu perubahan iklim global. Energi terbarukan, seperti yang dihasilkan dari tenaga gelombang laut, geothermal, angin, dan air, memiliki keuntungan karena tidak menghasilkan polutan atau gas rumah kaca. Meskipun demikian, tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaan energi terbarukan adalah sifatnya yang intermittency, yaitu ketidakstabilan pasokan energi akibat perubahan musim dan kondisi cuaca.





Indonesia, sebagai negara maritim dengan luas laut mencapai 3.257.357 km², memiliki potensi besar dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga laut, seperti pembangkit tenaga gelombang, arus laut, dan Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Teknologi ini dapat diintegrasikan dengan PLTS untuk membentuk sistem pembangkit listrik hybrid yang lebih efisien dan stabil. Sistem hybrid ini menggabungkan kelebihan dari masing-masing sumber energi, di mana energi gelombang laut dapat mengisi kekosongan energi yang terjadi saat produksi dari PLTS menurun pada malam hari atau saat cuaca mendung.

Selain potensi teknis, aspek ekonomi dan dampak lingkungan dari penggunaan sistem hybrid juga perlu diperhatikan. Studi oleh Komiyama et al. (2013) menunjukkan bahwa meskipun investasi awal dalam teknologi pembangkit listrik hybrid cukup tinggi, manfaat jangka panjang berupa pengurangan biaya operasi dan pemeliharaan serta penurunan emisi gas rumah kaca dapat menjadikannya pilihan yang menarik dan berkelanjutan. Evaluasi dampak lingkungan juga menunjukkan bahwa kombinasi energi gelombang laut dan solar dapat mengurangi jejak karbon secara signifikan dibandingkan dengan sistem pembangkit berbasis fosil, serta memberikan manfaat ekologis tambahan seperti perlindungan terhadap ekosistem laut dan darat.

Dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim, Indonesia telah menunjukkan komitmennya dengan meratifikasi Perjanjian Paris melalui UU Nomor 16 Tahun 2017, yang bertujuan untuk menjaga kenaikan suhu global tidak lebih dari 2 derajat Celsius dan mempromosikan upaya untuk membatasi kenaikan suhu hingga 1,5 derajat Celsius di atas tingkat pra-industri. Untuk mencapai target ini, Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% atau setara 834 juta ton karbon dioksida, di mana sektor energi mendapat porsi penurunan emisi sebesar 7,28% atau 314 juta ton karbon dioksida (Prihatno, 2020).

Secara keseluruhan, pengembangan dan penerapan sistem pembangkit listrik hybrid yang memanfaatkan energi gelombang laut dan PLTS menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan. Namun, untuk mewujudkan potensi ini, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam teknologi konversi energi, desain sistem hybrid, serta analisis biaya dan manfaatnya. Kajian ini memberikan dasar yang kuat untuk memahami tantangan dan peluang yang terkait dengan pengembangan energi terbarukan dan integrasinya dalam sistem pembangkit listrik yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.





BAB III PEMBAHASAN

Pemanfaatan sumber energi bersih menjadi salah satu solusi utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Energi terbarukan, seperti energi yang dihasilkan dari gelombang laut dan tenaga surya, menawarkan potensi besar untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Dalam konteks ini, sistem pembangkit tenaga listrik hybrid yang menggabungkan Ocean Wave Energy (energi gelombang laut) dan Solar Power Plant (pembangkit tenaga surya) merupakan alternatif yang menarik dan relevan untuk dipertimbangkan.

3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan panel fotovoltaik (PV) sebagai komponen utama untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sistem ini memanfaatkan panel PV untuk menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi daya listrik. Dalam sistem PLTS, panel PV yang umum digunakan adalah tipe monokristalin atau polikristalin, masing-masing dengan keunggulan dalam efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik.

3.1.1 Alat yang digunakan

a. Panel Fotovoltaik (PV):

Panel PV berfungsi untuk menghasilkan daya listrik dari radiasi matahari. Tipe panel yang digunakan dapat berupa monokristalin atau polikristalin.

- 1) Panel Monokristalin: Dikenal dengan efisiensi tinggi, menghasilkan daya sekitar 250-400 watt per panel, dan memiliki performa yang lebih baik pada kondisi pencahayaan rendah.
- 2) Panel Polikristalin: Biasanya lebih murah, dengan efisiensi sedikit lebih rendah dibandingkan monokristalin, tetapi masih efektif dalam menghasilkan listrik dari sinar matahari.

b. Inverter Low Frequency:

Inverter ini berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel PV menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh perangkat listrik rumah tangga. Inverter low frequency dirancang untuk tahan terhadap fluktuasi beban dan memberikan kestabilan pasokan listrik. Ini penting untuk menjaga kualitas dan kontinuitas pasokan listrik ke perangkat yang terhubung.





c. **Baterai:**

Baterai digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel PV agar dapat digunakan saat matahari tidak bersinar, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung. Biasanya, baterai Li-ion dipilih karena memiliki densitas energi tinggi, umur pakai yang panjang, dan kemampuan penyimpanan yang baik.

d. **Rumah Kontrol:**

Rumah kontrol berfungsi untuk mengelola dan mengatur aliran daya dari panel PV, inverter, dan sistem distribusi. Di dalam rumah kontrol terdapat beberapa komponen penting:

- 1) **Inverter:** Mengubah arus DC menjadi arus AC.
- 2) **Alat Kontrol Daya:** Mengatur aliran energi dan mengoptimalkan distribusi daya ke berbagai beban.
- 3) **Monitor Daya:** Memantau kinerja sistem, termasuk pemantauan produksi energi dari panel PV dan konsumsi energi.

e. **Rumah Baterai:**

Rumah baterai digunakan untuk menyimpan energi cadangan yang dihasilkan oleh panel PV. Biasanya dilengkapi dengan baterai Li-ion untuk efisiensi dan kapasitas penyimpanan yang tinggi. Energi dari baterai ini akan digunakan saat produksi energi surya tidak mencukupi.

3.1.2 Alur Penyaluran Daya

- 1) **Penangkapan Energi Matahari:** Panel PV menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi arus DC.
- 2) **Konversi Energi:** Arus DC dari panel PV dikirim ke inverter low frequency yang mengubahnya menjadi arus AC.
- 3) **Pengaturan dan Distribusi:** Energi AC dari inverter disalurkan ke Rumah Kontrol, di mana alat kontrol daya dan monitor daya mengatur distribusi energi ke perangkat listrik.
- 4) **Penyimpanan Energi:** Energi yang tidak digunakan langsung disimpan di Rumah Baterai untuk penggunaan di masa depan.
- 5) **Penggunaan Energi Cadangan:** Energi yang disimpan di Rumah Baterai digunakan saat produksi energi surya tidak mencukupi atau disalurkan ke sistem distribusi jika ada kelebihan.
- 6) Dengan pengaturan ini, PLTS dapat memberikan sumber daya listrik yang andal dan efisien, memanfaatkan energi matahari secara optimal untuk memenuhi kebutuhan energi.





Agar daya yang dihasilkan oleh PLTS menuju jaringan eksisting bernilai maksimum diperlukan alat yaitu power conditioning. Selain itu, alat ini berfungsi menyesuaikan proses perubahan tegangan DC menjadi tegangan AC dengan parameter yang ada pada jaringan eksisting. Salah satu bagian dari alat power conditioning tersebut adalah inverter (Nahela et al., 2020).

3.1.3 Hasil Energi PLTS

PLTS adalah salah satu pembangkit terbarukan yang paling berkembang di Indonesia, mengingat intensitas radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun. PLTS mengonversi energi radiasi matahari menjadi listrik melalui modul photovoltaic (PV). Pada kondisi optimal, intensitas radiasi matahari di Indonesia dapat mencapai rata-rata 4,8 kWh/m²/hari. Jika kita menggunakan modul PV dengan efisiensi konversi **20%**, maka potensi daya yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Untuk setiap 10 m² PV array, dapat menghasilkan sekitar 8.640 Watt (8,64 kWh) per hari.
- Dengan sistem inverter yang memiliki efisiensi sekitar 90%, daya yang dapat dimanfaatkan adalah sekitar 7,776 Watt per hari dari 10 m² panel surya.

Aspek lain yang perlu diperhatikan dalam pengembangan PLTS adalah laju degradasi modul surya yang dapat menurunkan efisiensi sistem dari waktu ke waktu, biasanya sekitar 0,5-1% per tahun tergantung pada kualitas panel. Selain itu, kondisi cuaca seperti mendung atau hujan akan menurunkan intensitas radiasi matahari, sehingga diperlukan perencanaan tambahan melalui sistem penyimpanan energi (baterai).

Untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), digunakan rumus berikut:

Rumus Energi yang Dihasilkan PLTS:

$$E_{PLTS} = A \times G \times \eta_{PV} \times \eta_{inv}$$

Keterangan:

- E_{PLTS} = Energi harian yang dihasilkan (Wh)
- A = Luas panel surya (m²)
- G = Intensitas radiasi matahari rata-rata (kWh/m²/hari)
- η_{PV} = Efisiensi panel surya
- η_{inv} = Efisiensi inverter

Dengan asumsi:

- Luas panel surya = 10 m²
- Intensitas radiasi = 4,8 kWh/m²/hari
- Efisiensi panel surya = 20%
- Efisiensi inverter = 90%





$$E_{PLTS} = 10 \times 4,8 \times 0,20 \times 0,90 = 8,64 \times 0,90 = 7,776 \text{Wh/hari}$$

Jadi, daya yang dihasilkan dari 10 m² panel surya per hari adalah 7,776 Wh.

3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

PLTGL memanfaatkan energi kinetik dari gelombang laut untuk menghasilkan listrik. Sistem ini biasanya terdiri dari pelampung, pegas hidraulik, dan generator yang bekerja sama untuk mengubah energi gerak gelombang laut menjadi energi listrik.

3.2.1 Alat Yang Digunakan

- a. Pelampung: Terpasang di permukaan laut dan bergerak mengikuti gelombang laut, menghasilkan energi mekanik. Pelampung ini tidak menggunakan kapal apung, tetapi terintegrasi langsung dengan sistem pembangkit.
- b. Pegas Hidraulik: Mengonversi gerakan pelampung menjadi tekanan hidraulik. Tekanan ini digunakan untuk menggerakkan generator.
- c. Generator: Mengubah energi mekanik dari tekanan hidraulik menjadi energi listrik.

3.2.2 Alur Penyaluran Daya

- a. Energi kinetik dari gelombang laut diubah menjadi energi mekanik oleh pelampung.
- b. Energi mekanik tersebut diubah menjadi tekanan hidraulik oleh pegas hidraulik.
- c. Tekanan hidraulik menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.
- d. Listrik yang dihasilkan disalurkan ke Rumah Kontrol untuk pengaturan dan distribusi lebih lanjut.

3.2.3 Hasil Energi PLTGL: Konversi Energi Gelombang Laut

PLTGL memanfaatkan energi kinetik dari gelombang laut untuk menghasilkan listrik melalui berbagai teknologi, seperti pelampung atau sistem osilasi air. Di Indonesia, potensi energi laut sangat tinggi, terutama di perairan selatan yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia, dengan ketinggian gelombang rata-rata mencapai 5,1 meter dan periode gelombang tertentu.

Salah satu model teknologi PLTGL yang diusulkan menggunakan pelampung besar yang dipasang pada perairan lepas pantai. Setiap pergerakan naik-turun gelombang laut akan diubah menjadi gerakan mekanik untuk menggerakkan turbin. Pada kondisi optimal, ketinggian gelombang 5,1 meter dapat menghasilkan daya sebesar 1.852.830 Watt atau sekitar 1,85 MW.





Teknologi PVDF (Polyvinylidene Fluoride) yang digunakan dalam pembangkit skala kecil juga berpotensi untuk mengonversi energi mekanik ombak menjadi listrik. PVDF memiliki sifat piezoelektrik yang mampu menghasilkan tegangan saat terkena tekanan mekanik dari gelombang. Dalam eksperimen skala laboratorium, satu lembar PVDF dapat menghasilkan daya sekitar 2,26 mW per sensor.

Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh PLTGL, rumus yang digunakan tergantung pada ketinggian gelombang laut dan karakteristik turbin:

Rumus Daya PLTGL:

$$P_{PLTGL} = P_{pltgl} = \frac{1}{2} \times \rho \times g \times H^2 \times T \times W$$

Keterangan:

- P_{PLTGL} = Daya yang dihasilkan (W)
- ρ = Densitas air laut (sekitar 1025 kg/m³)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- H = Ketinggian gelombang laut (m)
- T = Periode gelombang (s)
- W = Lebar sistem pembangkit (m)

Asumsikan:

- Ketinggian gelombang laut = 5,1 m
- Periode gelombang = 8 s
- Lebar sistem = 10 m

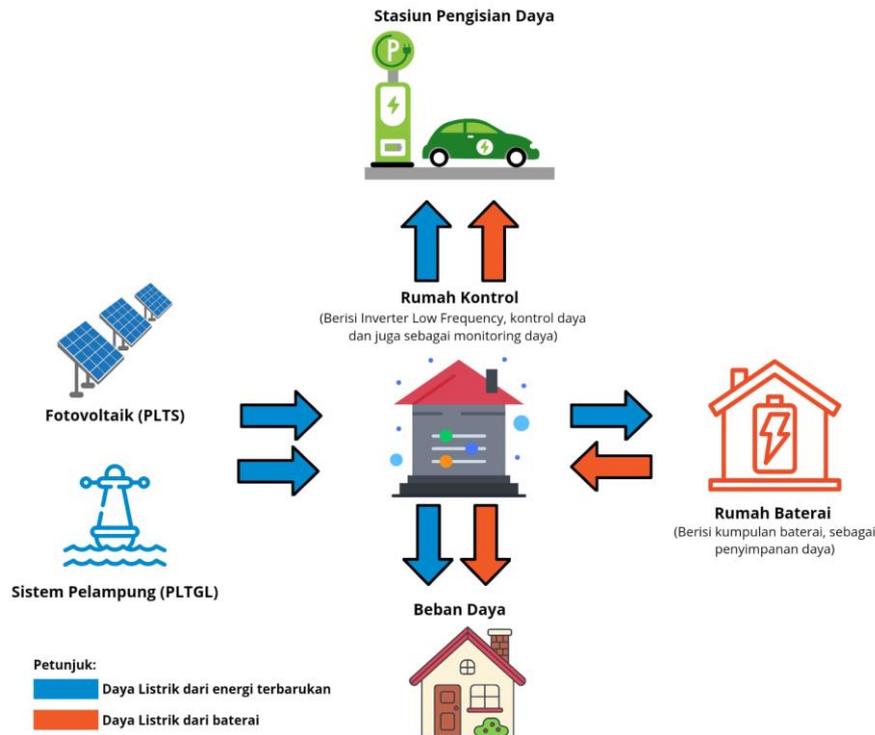
$$P_{PLTGL} = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9,81 \times (5,1)^2 \times 8 \times 10 = 1.852.830 \text{ W} = 1,85 \text{ MW}$$

Daya yang dihasilkan oleh PLTGL adalah sekitar 1,85 MW.

3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

Menggabungkan teknologi Ocean Wave Energy dengan Solar Power Plant dalam satu sistem pembangkit listrik hybrid menawarkan keuntungan yang signifikan. Kombinasi ini memungkinkan optimalisasi penggunaan energi terbarukan sepanjang hari, di mana tenaga surya dapat diandalkan pada siang hari, sementara tenaga gelombang laut dapat menutupi kebutuhan energi pada malam hari atau saat cuaca mendung. Hal ini menjadikan sistem hybrid ini lebih stabil dan andal dibandingkan dengan sistem yang hanya mengandalkan satu sumber energi. komponen-komponen utama yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) yang mencakup PV (PLTS), Sistem Pelampung (PLTGL), rumah kontrol, rumah baterai, dan charging station:





Gambar 1. Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

3.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

PLTH memanfaatkan pergerakan naik turunnya air laut dan juga sinar UV yang dipancarkan matahari. Komponen utamanya meliputi:

- Pelampung (PLTGL): Berfungsi menangkap energi dari gerakan gelombang laut. Pelampung mengapung di permukaan air dan bergerak naik-turun mengikuti gelombang. Gerakan ini diubah menjadi energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan tekanan hidraulik. Keunggulannya adalah kemampuan bekerja secara kontinu meskipun kondisi cuaca berubah-ubah.
- Pegas Hidraulik: Pegas ini menyerap energi mekanik dari gerakan pelampung dan mengubahnya menjadi tekanan hidraulik yang stabil. Sistem ini memungkinkan pengoptimalan energi dari gelombang laut serta meredam fluktuasi tekanan sehingga output ke generator tetap stabil.
- Generator: Generator mengubah tekanan hidraulik yang dihasilkan pegas menjadi energi listrik melalui konversi elektromagnetik. Energi listrik yang dihasilkan dialirkan ke rumah kontrol untuk pengaturan dan distribusi.

Keunggulan:

- Sumber energi terbarukan (gelombang laut).
- Operasi berkelanjutan, karena perbedaan suhu laut yang relatif stabil.
- Efisiensi tinggi karena penggunaan sistem hidraulik yang stabil.





3.3.2 Panel Fotovoltaik (PV) pada PLTS

PLTS menggunakan panel fotovoltaik (PV) untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik.

- PV Monokristalin atau Polikristalin: Tipe panel ini efisien dalam konversi energi matahari dengan daya output bervariasi, biasanya sekitar 250-400 watt per panel. Panel ini menangkap radiasi matahari dan menghasilkan arus searah (DC), yang kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter.

Keunggulan:

- Energi terbarukan yang berlimpah.
- Tidak menghasilkan emisi karbon.

3.3.3 Rumah Kontrol

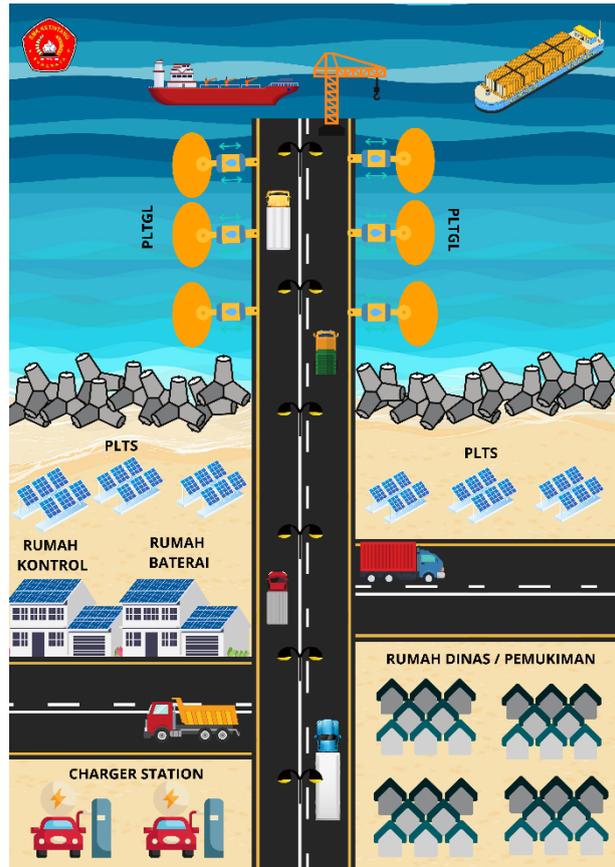
Rumah Kontrol berfungsi sebagai pusat pengaturan aliran listrik dari berbagai sumber energi, baik dari PLTGL, maupun PLTS. Komponen di dalam rumah kontrol meliputi:

- Inverter Low Frequency: Alat ini mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya dan generator menjadi arus bolak-balik (AC), yang sesuai untuk digunakan di perangkat listrik rumah tangga.
- Alat Kontrol Daya: Alat ini mengatur distribusi daya secara efisien dan memastikan bahwa pasokan listrik stabil, meskipun terdapat fluktuasi dalam input energi.
- Alat Monitor Daya: Memantau penggunaan dan aliran listrik secara real-time, memastikan bahwa sistem bekerja secara efisien dan mendeteksi jika ada masalah yang perlu diperbaiki.

Keunggulan:

- Memastikan distribusi daya yang efisien.
- Mengontrol input dari berbagai sumber energi, sehingga menjaga kestabilan aliran listrik.





Gambar 2. Ilustrasi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

3.3.4 Rumah Baterai

Rumah Baterai berfungsi menyimpan energi cadangan yang dihasilkan dari berbagai sumber energi, untuk digunakan saat permintaan energi tinggi atau saat produksi energi rendah. Sistem ini biasanya menggunakan:

- Baterai Lithium-Ion (Li-ion): Jenis baterai ini dipilih karena memiliki kapasitas penyimpanan yang besar, efisiensi tinggi, dan umur pemakaian yang panjang. Li-ion juga mampu menyimpan energi dalam jumlah besar dan mengeluarkannya dengan stabil saat dibutuhkan.

Keunggulan:

- Kapasitas penyimpanan tinggi.
- Efisiensi energi tinggi dan umur panjang.



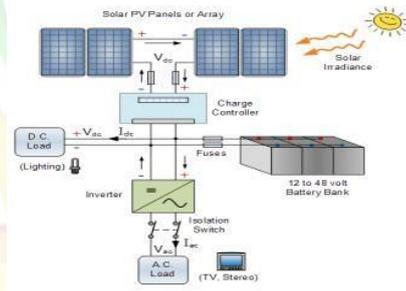
Kebutuhan Baterai untuk Sistem Off-Grid

Dalam sistem **off-grid**, baterai memiliki peran krusial dalam menyimpan energi yang dihasilkan oleh PLTS dan PLTGL. Penyimpanan ini diperlukan untuk memastikan ketersediaan listrik saat sumber energi tidak aktif (malam hari atau saat kondisi laut tenang).

Beberapa pertimbangan dalam merancang kapasitas baterai:

- **Total energi yang dihasilkan harian** dari PLTS dan PLTGL adalah **1.861.470 Watt-jam (1,86 MWh)**.
- Untuk menyimpan energi ini, sistem baterai harus memiliki kapasitas yang memadai. Misalnya, jika menggunakan baterai **Li-ion** yang memiliki efisiensi penyimpanan sekitar **95%**, maka kapasitas yang dibutuhkan setidaknya **2.000 kWh**.
- **Daya maksimum yang dapat diambil dari baterai** juga penting. Baterai Li-ion dapat menyediakan daya kontinu dengan densitas energi sekitar **150-200 Wh/kg**, sehingga dibutuhkan baterai dengan total berat sekitar **10.000 kg** untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan.

Untuk pengoperasian yang lebih kompleks, sistem baterai juga memerlukan **Battery Management System (BMS)** yang mengontrol pengisian dan pengosongan baterai, serta mencegah kondisi overcharge atau overdischarge, yang dapat memperpendek umur baterai.



(sumber: Panji, 2021)

Untuk menghitung kebutuhan baterai, kita perlu mengetahui total energi yang dibutuhkan dan efisiensi baterai:

Rumus Kapasitas Baterai:

$$C_{baterai} = \frac{E_{total}}{V_{sistem} \times DOD \times \eta_{bat}}$$

Keterangan:

- $C_{baterai}$ = Kapasitas baterai (Ah)
- E_{total} = Total energi yang disimpan (Wh)
- V_{sistem} = Tegangan sistem (V)
- DOD = Depth of Discharge (kedalaman pengosongan) (~80%)
- η_{bat} = Efisiensi baterai (95%)





Asumsi:

- Total energi yang dihasilkan PLTS dan PLTGL = 1,861,470 Wh (1,86 MWh)
- Tegangan sistem = 48 V

$$C_{\text{baterai}} = \frac{1.861.470}{48 \times 0,80 \times 0,95} = \frac{1.861.470}{36,48} = 51.028,3Ah$$

Dibutuhkan baterai dengan kapasitas sekitar 51.028 Ah untuk menyimpan energi.

3.3.5 Charging Station

Charging Station berfungsi untuk mengisi ulang kendaraan listrik, seperti truk elektrik, atau untuk menyuplai energi ke titik distribusi tertentu.

Kegunaan:

- Mengisi ulang baterai kendaraan listrik atau menyediakan pasokan energi cadangan untuk keperluan lain.
- Mendukung transisi ke kendaraan listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan yang dihasilkan oleh sistem hybrid (PLTGL, PLTS).

Alur Penyaluran Daya:

- Energi dari PLTGL dan PLTS disalurkan ke rumah kontrol.
- Di rumah kontrol, energi diatur dan jika ada kelebihan, disalurkan ke rumah baterai.
- Energi dari rumah baterai digunakan saat produksi energi rendah atau permintaan tinggi.
- Energi dari rumah kontrol kemudian disalurkan ke charging station atau pemukiman.
- Dengan pemanfaatan teknologi ini, sistem hybrid yang memadukan PLTGL, PLTS, dan komponen pendukung lainnya seperti rumah kontrol dan baterai, mampu menciptakan sistem tenaga listrik yang efisien dan ramah lingkungan.

3.4 Implementasi pada Beban Rumah Tangga dan Komersial

Dengan total daya harian sekitar 1,86 MWh, hybrid PLTS dan PLTGL dapat memenuhi berbagai kebutuhan listrik, baik untuk rumah tangga maupun kantor:

- Rumah Tangga: Konsumsi rata-rata rumah tangga di Indonesia sekitar 3.000 Watt per hari. Dengan total daya 1,86 MWh, sistem ini mampu menyuplai listrik untuk sekitar 620 rumah tangga.
- Kantor: Kantor menengah dengan konsumsi listrik sekitar 10.000 Watt per hari dapat disuplai oleh sistem ini untuk sekitar 186 kantor.





Untuk mendukung distribusi daya ke konsumen, inverter berperan dalam mengubah arus searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga atau kantor. Inverter dengan kapasitas 220V dan 50Hz diperlukan untuk menyesuaikan dengan standar kelistrikan di Indonesia. Selain itu, pada desain yang lebih maju, sistem hybrid ini dapat dilengkapi dengan smart grid yang mampu memantau konsumsi listrik secara real-time dan mengatur distribusi daya berdasarkan prioritas beban (misalnya, penerangan utama memiliki prioritas lebih tinggi dibandingkan dengan peralatan elektronik yang kurang penting).

Dengan daya harian sebesar 1,86 MWh, kita bisa mendistribusikan daya ke beberapa rumah tangga. Jika konsumsi rata-rata rumah tangga adalah 3.000 Wh per hari, maka jumlah rumah tangga yang dapat disuplai adalah:

$$N_{rumah} = \frac{1.861.470Wh}{3000Wh/rumah} = 620rumah\ tangga$$

Sistem ini dapat menyediakan listrik untuk sekitar 620 rumah tangga per hari

3.5 Keuntungan Sistem Hybrid dan Dampaknya pada Lingkungan

Sistem pembangkit listrik hybrid yang menggabungkan PLTS dan PLTGL memiliki beberapa keuntungan utama:

- Ketersediaan energi sepanjang waktu: PLTS menghasilkan energi pada siang hari, sedangkan PLTGL dapat beroperasi hampir sepanjang hari tergantung pada kondisi gelombang laut.
- Diversifikasi sumber energi: Dengan menggunakan dua sumber terbarukan yang berbeda, sistem ini lebih andal karena tidak sepenuhnya bergantung pada satu jenis sumber energi.

Penurunan emisi karbon: Dengan memanfaatkan energi terbarukan, sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik konvensional yang berbahan bakar fosil, sehingga membantu menurunkan emisi CO2 dan menjaga lingkungan.

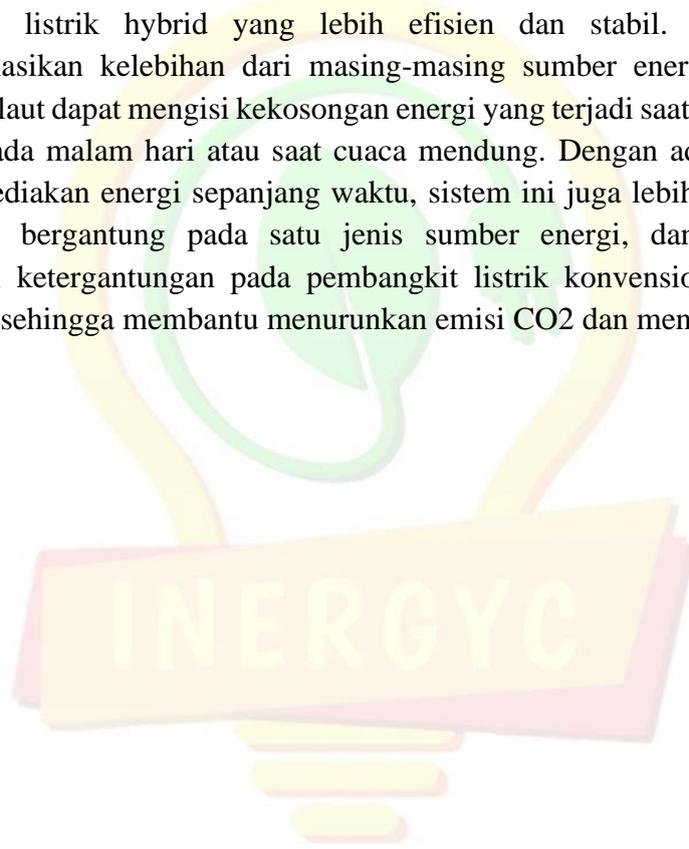




KESIMPULAN

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid merupakan sistem pembangkit energi listrik dengan mengkombinasikan dua sumber energi yaitu energi gelombang laut dan solar power plant, dengan adanya inovasi PLTH akan memanfaatkan sumber energi bersih menjadi salah satu solusi utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan ketergantungan pada bahan bakar fosil khususnya melalui konversi PLTH yang memadukan energi gelombang laut dan solar power plant. Di Indonesia sendiri memiliki potensi besar dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga laut, seperti pembangkit tenaga gelombang, arus laut, dan Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC).

Teknologi ini akan diintegrasikan dengan PLTS untuk membentuk sistem pembangkit listrik hybrid yang lebih efisien dan stabil. Sistem hybrid ini mengkombinasikan kelebihan dari masing-masing sumber energi, di mana energi gelombang laut dapat mengisi kekosongan energi yang terjadi saat produksi dari PLTS menurun pada malam hari atau saat cuaca mendung. Dengan adanya sistem PLTH akan menyediakan energi sepanjang waktu, sistem ini juga lebih andal karena tidak sepenuhnya bergantung pada satu jenis sumber energi, dan sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik konvensional yang berbahan bakar fosil, sehingga membantu menurunkan emisi CO₂ dan menjaga lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

Ana Nur Azizah, & Sugeng Purbawanto. (2021). *Perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid (PV*





- dan mikrohidro) terhubung grid (Studi Kasus: Desa Merden, Kecamatan Padureso, Kebumen). *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan*, 2(1), 1-12.
- Andhika Putra Pambayun, & Muflihul Iman. (2022). *Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap untuk keperluan pada rumah tinggal: Studi kasus rumah tinggal di Jalan Swadaya, Depok*. *Jurnal Energi Terbarukan*, 12(4), 100-115. <https://doi.org/10.1234/jurnalenergi.v12i4.78901>
- Al Mursyid, M. H. A., Mangkurat, B. B., & Andriawan, A. H. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (Pelampung) Kapasitas 100 Watt. *Jurnal EL Sains P-ISSN*, 2527, 6336.
- Aziz, F. S., Setiawan, A. M., & Setyobudi, A. (2020). Potensi Pembangkit Tenaga Listrik Hybrid Renewable Energy di Pulau Sempu. *SinarFe7*, 3(1).
- Boedoyo, M. S. (2013). Potensi dan peranan plts sebagai energi alternatif masa depan di indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 14(2), 146-152.
- Erik Munandar, Indra Jaya, & Agus S. Atmadipoera. (2018). *Rancang bangun dan uji kinerja wave buoy sebagai alat pengukur tinggi gelombang pesisir*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.21664>
- Hendi Bagja Nurjaman, & Trisna Purnama. (2022). *Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai solusi energi terbarukan rumah tangga*. Article history. Received: May 29th, 2022; Revised: September 25th, 2022; Accepted: November 30th, 2022.
- Irwan, & Syatir Suaib. (2022). *Potensi pemanfaatan energi gelombang laut menjadi energi listrik di Kelurahan Sapolohe Kabupaten Bulukumba*. *Jurnal Teknik Hidro*, 15(2), 45-58. <https://doi.org/10.1234/jurnalteknoh.v15i2.67890>
- Mochamad Tauffauzan Catur Junihartomo, Zakky Al Mubaroq, & Sri Sundari. (2022). *Teknologi energi terbarukan ocean power technologies*. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(2), 75-90. <https://doi.org/10.1234/jurnalkewarganegaraan.v6i2.56789>
- Nagifea, F. Y. (2022). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl) Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 10(2), 17-24.
- Novi Rahmawati, Sudarti, & Yushardi. (2022). Potensi Sumber Energi Air Laut di Indonesia sebagai Alternatif Energi Listrik. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 6(2), 88-101.
- Nugraha, A., & Buchori, A. S. (2022). Investigasi Kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut Mikro Berbasis PVDF. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 6(2), 342-349.
- Sanam, I. A., Muhamad Suhaedi, R. A. G., & D. Supriyatna. (2022). Potensi Energi Laut di Indonesia sebagai Sumber Listrik Baru Terbarukan. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 12(2), 105-119. ISSN 2088-6225, E-ISSN 2580-2798.
- Zuraidah Tharo, Hamdani, & Melly Andriana. (2019). *Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di Sumatera*. ISBN: 978-623-7297-02-4.
- Wijasa, Panji Gautama. 2021. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sistem Off Grid Dengan Kapasitas 2 Kwp Pada Instalasi Menara Suar Bulukumba*. Jakarta: Institut Teknologi Pln.

