

**PERANCANGAN TEKNOLOGI PANEL SURYA TERAPUNG UNTUK
MEMAJUKAN SEKTOR KELAUTAN DI INDONESIA
(Designing Floating Solar Panel Technology to Advance Indonesia's Marine
Sector)**

**Mohammad Ikhwan Darmawan S^{*}, Parhan Dahro Maulana dan Ziyani
Akmal Tiftazani**

Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota
Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia
e-mail: ziyani_a.t@upi.edu

ABSTRACT

Marine pollution due to waste from steam power plants (PLTU) in Indonesia is a serious problem that has long been a concern. The negative impact of this pollution damages marine ecosystems and has the potential to harm the economy, especially in the tourism and fisheries sectors. An innovative solution that has emerged is the use of floating solar panels. Floating solar panels are a technology that utilizes solar energy to produce electricity. The main advantage is that this technology can reduce the negative impact of the energy sector on the marine environment. However, in Indonesia there are still several obstacles that need to be overcome so that this technology can be successfully implemented. The main obstacles faced are high initial costs and complex problems in managing floating solar panel infrastructure in Indonesia's diverse waters. The solution to overcome these obstacles is close cooperation between the government, the business world and the education sector. The government can provide financial incentives and create regulations that support the use of floating solar panels. Industry must play a role in developing this technology and reducing production costs. Meanwhile, the education sector can contribute to research and development to improve the efficiency and sustainability of technology. The use of floating solar panels in Indonesia has great potential to reduce marine pollution, maintain sea water quality and support important marine resources. In addition, this will also help reduce greenhouse gas emissions that contribute to global climate change. By overcoming these obstacles, Indonesia can advance its marine sector, protect the marine environment, and achieve long-term sustainability goals.

Keywords: Floating Solar Panels, Marine Pollution, Marine Ecosystem.

ABSTRAK

Pencemaran laut akibat limbah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Indonesia merupakan permasalahan serius yang telah lama menjadi perhatian. Dampak negatif pencemaran tersebut merusak ekosistem laut dan berpotensi merugikan perekonomian, khususnya pada sektor pariwisata dan perikanan. Solusi inovatif yang muncul adalah penggunaan panel surya terapung. Panel surya terapung merupakan teknologi yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik. Keunggulan utamanya adalah teknologi ini dapat mengurangi dampak negatif sektor energi terhadap

lingkungan laut. Namun di Indonesia masih terdapat beberapa kendala yang perlu diatasi agar teknologi ini dapat berhasil diterapkan. Kendala utama yang dihadapi adalah biaya awal yang tinggi dan permasalahan kompleks dalam pengelolaan infrastruktur panel surya terapung di perairan Indonesia yang beragam. Solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah kerjasama yang erat antara pemerintah, dunia usaha dan sektor pendidikan. Pemerintah dapat memberikan insentif finansial dan membuat peraturan yang mendukung penggunaan panel surya terapung. Industri harus berperan dalam mengembangkan teknologi ini dan menekan biaya produksi. Sementara itu, sektor pendidikan dapat berkontribusi pada penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan teknologi. Penggunaan panel surya terapung di Indonesia mempunyai potensi besar untuk mengurangi pencemaran laut, menjaga kualitas air laut dan mendukung sumber daya penting laut. Selain itu, hal ini juga akan membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Dengan mengatasi hambatan-hambatan ini, Indonesia dapat memajukan sektor kelautan, melindungi lingkungan laut, dan mencapai tujuan keberlanjutan jangka panjang.

Kata kunci: Panel Surya Terapung, Pencemaran Laut, Ekosistem Laut.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari daerah pesisir, pulau-pulau kecil dan besar. Daerah pesisir merupakan wilayah yang unik, karena bentang konteks alam, wilayah pesisir merupakan tempat bertemunya daratan dan lautan. Sebagai wilayah transisi antara daratan dan lautan, pada wilayah pesisir terdapat ekosistem yang beragam dan produktif serta memiliki nilai ekonomi yang besar. Jika ditinjau dari segi wilayah, daratan maupun perairan di Indonesia, semuanya diperuntukan bagi kemakmuran rakyat (Willem, R. 2018).

Pembangunan PLTU di Daerah Pesisir Ini menimbulkan berbagai macam masalah yang terjadi, seperti limbah buangan air panas, limbah batu bara, lumpur, pasir dan lain-lain yang dapat mempengaruhi perubahan komposisi biota yang terjadi di wilayah lautan. Limbah air panas yang di buang di daerah laut pada umumnya dialirkan melalui kanal - kanal untuk menekan suhu tinggi sebelum di buang (Putri D.A., & Sahara, L.2021).

Selanjutnya, laporan dari Greenpeace (2021) menyampaikan bahwa "limbah PLTU yang mengandung senyawa kimia berbahaya dan logam berat dapat merusak ekosistem laut, mengganggu siklus makanan laut, dan berpotensi membahayakan sumber daya laut yang sangat penting bagi manusia." Oleh karena itu, upaya mengatasi

pencemaran laut oleh limbah PLTU adalah sebuah langkah yang tidak dapat diabaikan dalam rangka menjaga keseimbangan ekosistem laut dan berdampak positif pada masyarakat.

Sebuah penelitian yang dipublikasikan oleh International Energy Agency (IEA) pada tahun 2020 menunjukkan bahwa "teknologi panel surya terapung memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil" (IEA, 2020). Laporan ini menggambarkan bagaimana beberapa negara seperti Jepang dan Singapura telah berhasil menerapkan teknologi panel surya terapung dengan hasil yang memuaskan, menginspirasi upaya serupa di seluruh dunia.

Hasil pemanfaatan energi surya tidak menghasilkan limbah industri yang menyebabkan kerusakan pada peralatan atau menurunkan masa lifetime peralatan tersebut. Instalasi dan pemeliharaan panel surya termasuk mudah sehingga memungkinkan bagi masyarakat sekitar untuk melakukan maintenance sendiri untuk panel surya tersebut. Selain daripada itu instalasi panel surya dianggap lebih hemat dibandingkan penggunaan generator apabila akan digunakan dalam jangka waktu panjang (Hasan, H. 2012).

Namun, menghadapi hambatan dalam mengimplementasikan teknologi panel surya terapung di Indonesia juga perlu diperhitungkan. Sebuah artikel di Harvard Business Review (2022) mengidentifikasi bahwa "tantangan finansial dan kompleksitas teknis dalam manajemen infrastruktur panel surya terapung di perairan Indonesia menjadi penghalang utama yang perlu diatasi." Meskipun demikian, manfaat yang potensial sangatlah besar jika berbagai hambatan ini dapat diatasi.

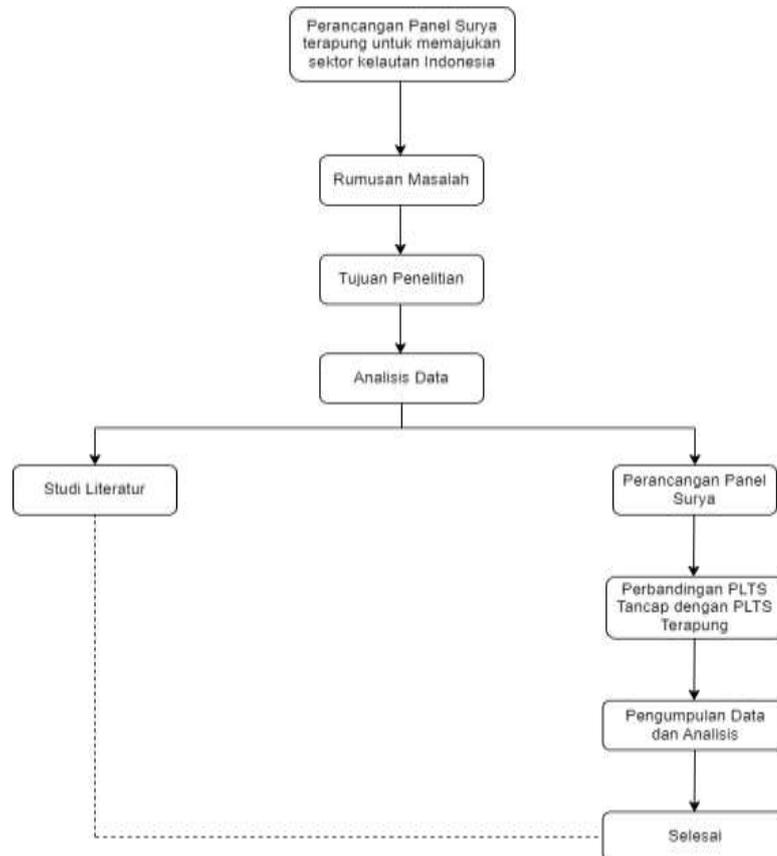
Dalam tulisan ini, kami akan menggali lebih dalam dampak pencemaran laut oleh limbah PLTU di Indonesia, mengeksplorasi keberhasilan implementasi panel surya terapung di beberapa negara lain, mengidentifikasi hambatan yang mungkin dihadapi dalam konteks Indonesia, dan merumuskan strategi konkret untuk mendorong penggunaan teknologi ini. Harapannya, tulisan ini akan memberikan wawasan yang lebih komprehensif tentang tantangan dan peluang yang terkait dengan pencemaran laut oleh limbah PLTU, serta bagaimana teknologi panel surya terapung dapat menjadi solusi yang menjanjikan. Melalui langkah-langkah ini, kita dapat menuju masa depan yang lebih bersih, berkelanjutan, dan ramah lingkungan bagi Indonesia, sambil

melindungi ekosistem laut yang sangat penting bagi semua pihak.

METODE PENELITIAN

Dalam menunjang penyusunan penelitian ini maka penulis menggunakan Metode Perancangan. Metodologi perancangan yaitu proses dalam merancang bangunan, meliputi pengumpulan data, analisis, sintesis konsep, drawing. Dalam perancangan arsitektur data dan fakta merupakan suatu hal yang menjadi dasar atau sumber ide dalam perancangan. Berdasarkan sumber data, data dibagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh peneliti secara langsung dari sumber datanya. Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan peneliti dari berbagai sumber yang telah ada.

Adapun pengertian menurut Marzuki, (2002:55) “Data Primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumber yang diamati dan dicatat untuk pertama kalinya”. Sedangkan data sekunder menurut Umi Narimawati (2008:94) bahwa :“Data Sekunder merupakan data yang sudah tersedia sehingga kita tinggal mencari dan mengumpulkan data”.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

1. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu ;

1. Bagaimana cara mengimplementasi PLTS Terapan untuk meningkatkan efisiensi penghasil energi bersih?
2. Apa saja yang menjadi tantangan serta hambatan dari pengimplementasian panel surya terapan?

2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukanya penelitian ini yaitu ;

1. Dengan diimplementasikannya PLTS Terapan untuk meningkatkan efisiensi penghasil energi bersih, limbah laut yang dihasilkan oleh PLTU dapat berkurang, mengurangi kerusakan pada ekosistem lingkungan laut.
2. Mengetahui tantangan serta hambatan yang tidak diduga dalam pengimplementasian teknologi panel surya terapan.

3. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan studi literatur.

1. Studi literatur

Analisis data dilakukan dengan metode studi literatur dengan mengumpulkan dokumen atau bahan literatur yang terkait dengan perancangan panel surya terapung bahan tersebut seperti jurnal penelitian, buku, internet dan lain-lain yang berhubungan dengan pokok bahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tinjauan Sistem PLTS Terapung

PLTS Terapung adalah kumpulan panel surya yang dipasang pada platform yang berfungsi sebagai pengapung pada permukaan perairan, maupun itu danau, laut, waduk, irigasi, ataupun pantai lepas, dan pada medium berbasis air lain-lainnya. Prinsip PLTS Terapung tidak berbeda jauh dengan dengan PLTS Tancap. PLTS Terapung telah dianggap layak untuk komersial karena telah banyak proyek yang berlangsung dengan sukses.

Radiasi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan energi surya yang sampai pada permukaan Bumi. Radiasi elektromagnetik berasal dari cahaya matahari yang terdiri dari foton atau partikel energi surya yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Solar global yang diukur menggunakan kepadatan daya permukaan wilayah penerima. Nilai rata - rata radiasi surya di atmosfer Bumi adalah 1.353 W/m, yang diwakili sebagai konstanta matahari.

Kondisi cuaca, seperti kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim, dan posisi garis lintang, mempengaruhi intensitas radiasi surya. Waktu siklus perputaran Bumi juga mempengaruhi intensitas radiasi surya. Di Indonesia, intensitas radiasi sinar matahari berkisar antara 4 dan 5 jam per hari. Untuk menghitung produksi energi surya di suatu wilayah, gunakan rumus berikut:

$$E = I \times A$$

Yaitu,

E = Energi surya yang dihasilkan (W)

I = Isolasi/Intensitas radiasi surya rata- rata yang diterima selama satu jam (W/m)

$$A = \text{Luas area (m}^2\text{)}$$

Energi photovoltaic adalah istilah lain untuk energi surya yang diubah menjadi listrik. Teknologi ini awalnya digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah pedesaan terpencil, tetapi sekarang telah berkembang menjadi lampu jalan berenergi surya untuk menghasilkan listrik untuk tempat umum seperti rumah peribadatan, klinik, dan lembaga pemerintah. Walaupun pada awalnya hanya cukup untuk kebutuhan penerangan, PLTS dapat menyediakan listrik di lokasi yang diperlukan. Pompa air tenaga surya juga tersedia, yang dapat digunakan untuk mengairi irigasi atau sumber air bersih yang juga dapat digunakan sebagai sumber air minum.

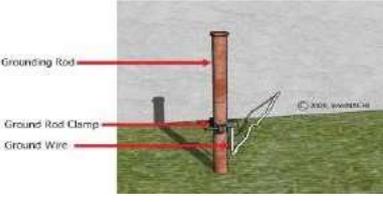
Modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Modul surya terbuat dari bahan semikonduktor, yang terbuat dari sebagian logam dan memiliki partikel yang disebut elektron-proton, yang bergerak ketika digerakkan oleh energi dari luar. Mengeluarkan elektron, menghasilkan arus listrik. Modul surya memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang. Elektromagnetik atau energi foton ini dihasilkan oleh cahaya matahari. energi kinetik yang memungkinkan elektron-elektron untuk dilepaskan ke pita konduksi, sehingga menciptakan aliran listrik. Meningkatnya intensitas cahaya matahari menyebabkan peningkatan energi kinetik. Pada siang hari, bumi menyerap intensitas cahaya matahari tertinggi, yang menghasilkan sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja daripada sel surya. Berikut merupakan komponen penunjang sistem panel surya terapung.

Tabel.1 Komponen PLTS Terapung (World Bank Group, ESMAP, and SERIS, 2019)

Nama Komponen	Gambar Komponen	Keterangan
Modul <i>Photovoltaic (PV) Crystalline</i>	 <i>Sumber : www.fortuners.com</i>	Modul yang berfungsi untuk menyerap energi cahaya matahari dan diubah menjadi energi listrik DC

<p><i>Solar Charger Controller</i></p>	 <p><i>Sumber : www.sanspower.com</i></p>	<p>Pengendali proses pengisi baterai dari modul PV</p>
<p><i>Inverter</i></p>	 <p><i>Sumber : www.defa.com</i></p>	<p>Pengubah energi DC yang berasal dari baterai, dapat berfungsi sebaliknya</p>
<p>Penyangga PV Modul</p>	 <p><i>Sumber : indonesian.alibaba.com</i></p>	<p>Penyangga atau <i>support</i> dari modul surya sesuai posisi dan kemiringan yang telah direncanakan</p>
<p>Baterai</p>	 <p><i>Sumber : suryapanelindonesia.com</i></p>	<p>Berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari. Dapat dipakai pada malam hari atau tenaga PV tidak mencukupi</p>
<p><i>Combiner Box</i></p>	 <p><i>Sumber : www.geya.net</i></p>	<p>Panel DC yang menggabungkan output bersumber dari beberapa PV menjadi satu. Juga berfungsi untuk mengisolasi dan proteksi dari tegangan lebih dan petir</p>

<p><i>Solar/Battery Inverter</i></p>	 <p><i>Sumber : sumberdayaenergy.com</i></p>	<p>Panel AC yang menggabungkan output dari berbagai <i>Solar Inverter</i> dan <i>Battery Inverter</i> menjadi satu. Juga berfungsi untuk mengisolasi dan proteksi dari tegangan lebih dan petir</p>
<p>Panel Distribusi</p>	 <p><i>Sumber : id.aliexpress.com</i></p>	<p>Panel AC tegangan rendah yang berfungsi menyalurkan daya dari pembangkit ke beban</p>
<p>Kabel Listrik</p>	 <p><i>Sumber : www.lamudi.co.id</i></p>	<p>Kumpulan kabel yang terdiri atas kabel voltaik, kabe baterai, kabel <i>waterproof</i> dan jenis kabel lainnya yang sesuai dengan RKS</p>
<p>Rumah Pembangkit</p>	 <p><i>Sumber : www.istockphoto.com</i></p>	<p>Bangunan dengan fungsi sebagai penyimpan peralatan dan tempat kegiatan operasional pembangkit</p>

<p><i>Grounding dan Penangkal Petir</i></p>		<p><i>Grounding</i> atau pentanahan peralatan yang menggunakan rod terbuat dari tembaga. Penangkal petir</p> <p>Sumber : <i>pakarpetir.co.id</i></p>
<p><i>Pyranometer</i></p>		<p>Sensor pengukur besar-kecil intensitas radiasi matahari pada permukaan bidang dengan satuan W/m².</p> <p>Sumber : <i>sevensensor.com</i></p>
<p><i>Floater</i></p>		<p>Sebuah medium pemasangan modul PV diatas permukaan air dan memungkinkan akses berjalan pada permukaan air. <i>Floater</i> pada umumnya terbuat dari bahan yang kuat, mudah dirawat, rentan terhadap sinar UV serta korosi</p> <p>Sumber : <i>id.pvsolarfirst.com</i></p>
<p><i>Jangkar dan Tali Jangkar</i></p>		<p>Digunakan untuk menahan pergerakan PLTS Terapung agar tidak berpindah.</p> <p>Sumber : <i>www.istockphoto.com</i></p>

2. Perbandingan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Tancap dan PLTS Terapung

Rancangan pemasangan PLTS Terapung serupa dengan varian PLTS Tancap dengan perbedaan secara umum adalah terdapatnya struktur pengapung, jangkar, dan penambat. Walaupun standar modul suryanya serupa, tetap perlu diingat bahwa modul surya pada PLTS Terapung sangat rentan terhadap lingkungan ekstrim seperti gelombang tinggi, badai topan, korosi, dan lain- lainnya. Berikut adalah pembeda dari kedua PLTS tersebut:

Tabel.2 Perbandingan rancangan desain PLTS Terapung dan PLTS *ground-mounted* (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi)

	PLTS Terapung	PLTS Tancap
Konfigurasi modul surya	<ul style="list-style-type: none"> - Desain modular pada permukaan air rata - Kemiringan modul terbatas (mempertimbangkan faktor angin) - Jarak barisan yang ditentukan oleh struktur terapung - Terdiri dari <i>floating islands</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Desain harus mempertimbangkan kemiringan tanah - Penjarakan barisan yang lebih fleksibel - Memungkinkan Modul PV yang besar
Pemasangan struktur penyangga	<ul style="list-style-type: none"> - Struktur Terapung - Penjangkaran dan Penambatan merupakan hal yang diutamakan - Akses pemeliharaan harus direncanakan - Struktur <i>floater</i> harus dipertimbangkan untuk mengalami beban dari angin, salju, gelombang, dan arus air 	<ul style="list-style-type: none"> - Struktur tiang dan berupa seperti rak - Struktur penyangga diduga untuk mengalami salju dan angin saja - Implementasi <i>tracking</i> lebih memungkinkan - Lebih cenderung terhadap efek resonansi

Peralatan listrik dan kabel	<ul style="list-style-type: none"> - Kompatibel dengan <i>floaters</i> atau dekat dengan permukaan air - Diletakkan pada pada pengapung - Dibutuhkan standar dan sertifikasi yang tinggi - Pada berbagai contoh kasus dibutuhkan <i>equipotential bonding wires</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>String inverter</i> dan kotak listrik dapat diletakkan dibawah Modul PV - Kabel dapat diletakkan dalam conduit atas tanah atau ditanam dibawah tanah
Keamanan	<ul style="list-style-type: none"> - Desain <i>platform</i> perlu mempertimbangkan risiko tambahan untuk petugas - Lingkungan dengan kelembaban tinggi - Diperlukannya pengkabelan yang rapi dan mengakomodasi pergerakan terus-menerus yang dapat menyebabkan kerusakan kabel dan risiko kebakaran 	<ul style="list-style-type: none"> - Keamanan sudah cukup mapan

3. Keuntungan yang didapatkan dari panel surya terapung

3.1 Pemanfaatan Lahan Terdegradasi

Untuk membangun ladang surya, diperlukannya lahan yang besar yang dapat menambah kepada sebab penebangan hutan, kehilangan habitat, dan kehilangannya flora serta fauna (Choi, 2014). Pada kelainannya, terdapat banyak lahan di dunia yang sekalnya digunakan untuk mendukung aktivitas ekonomi dan industri yang sekarang sudah ditinggalkan. Lahan tersebut biasanya sudah terkontaminasi dan berbahaya untuk lingkungan dan kesehatan manusia, dan untuk memulihkan lahan tersebut memakan waktu yang lama (Pouran et al., 2018). Lahan bekas tambang biasanya terletak dengan permukiman, guna untuk mengurangi kerusakan lingkungan dan sumber daya alam, keperluan untuk menambah infrastruktur, dan biaya transportasi (Ameller et al., 2020).

Dengan konteks berikut, panel surya terapung dapat dipasang pada lahan bekas

tambang. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan danau terkontaminasi yang terletak pada pertambangan yang runtuh di provinsi Anhui, China (Pouan, 2018a, 2018b). Studi kasus lainnya adalah danau galian di Korea (Song dan Choi, 2016), yang menyarankan bahwa pemasangan panel surya terapung pada danau galian tersebut menunjukkan potensi ekonomi yang memungkinkan, dengan pengurangan emisi gas rumah kaca dua kali lipat apabila dibandingkan dengan penanaman ulang hutan dari lahan tambang yang ditinggalkan. Studi tersebut menyimpulkan bahwa panel surya terapung dipertimbangkan sebagai metode yang efisien untuk menggunakan lahan tambang bekas (Song dan Choi, 2016).

3.2 Pengurangan Ledakan Alga pada Waduk

Panel surya terapung memiliki dampak positif kepada alga yang berkembang pesat yang juga disebut sebagai ledakan alga. Ledakan alga memiliki dampak yang serius terhadap sumber air bersih, bidang perikanan, turisme dan bidang pariwisata yang menggunakan bidang perairan (Paerl et al., 2018). Dengan adanya panel surya terapung, sinar matahari yang menembus air dan suhu permukaan air juga akan berkurang. Matahari sangatlah krusial untuk pertumbuhan alga karena digunakan untuk proses fotosintesis, sinar matahari yang terhalang oleh panel surya terapung dapat memitigasi proses proliferasi alga dan meningkatkan kualitas air (Sahu et al., 2016). Hal ini sangatlah penting karena pertumbuhan alga pada permukaan air dapat merusak kualitas air secara signifikan (Cazzaniga et al., 2018). Pertumbuhan alga yang rendah juga dapat mengecilkan kemungkinan perkembangan spesies alga toksik yang dapat melepaskan toksin (Haas et al., 2020).

3.3 Meningkatkan Efisiensi Panel Surya

Panel surya menghasilkan panas apabila menghasilkan energi, meningkatnya temperatur panel surya dapat mengurangi tingkat efisiensinya, sehingga dapat mengurangi energi yang dihasilkan. Beberapa studi sebelumnya telah membuktikan bahwa mengurangi temperatur panel surya dan suhu ambien dapat meningkatkan penghasilan energi; contoh dalam perancangan saluran pendingin untuk meminimalisir kehilangan efisiensi (Brinkworth and Sandberg, 2006) ataupun eksperimen pada panel surya terendam (Rosa-Clot et al., 2010).

Kehilangan tingkat efisiensi disebabkan oleh suhu ambien yang tinggi dan temperatur operasional pada panel surya yang bergantung pada teknologi yang

digunakan. Perubahan dalam efisiensi kinerja dapat dihitung dalam %/Celsius; untuk panel surya komersial dapat mencapai - 0.45% per Celsius (Cazzaniga et al.,2018). Secara umum, daya nominal dari panel surya (PV) adalah hasil keluaran yang diukur pada suhu 25°C, dan suhu di atas itu akan mengurangi efisiensi hasil keluaran.

Modul pada panel surya terapung dapat beroperasi dengan temperatur yang lebih rendah karena efek samping pendinginan evaporasi yang berasal dari air. Apabila rangka aluminium digunakan dalam modul panel surya, maka suhu dingin yang berasal dari air akan dibawa, mengurangi suhu modul pada panel surya (Sahu et al., 2016). Beberapa penelitian menyarankan bahwa secara rata-rata efisiensi dari panel surya terapung berkisaran 11% lebih efisien dari panel surya yang dipasang pada tanah (Choi, 2014). Akan tetapi, dampak pendinginan yang diberi oleh air kepada panel surya terapung juga dipengaruhi oleh desain dan kondisi ambien seperti angin. Namun demikian, tanpa memperdulikan desainnya, panel surya terapung memiliki temperatur yang lebih rendah ketika dibandingkan dengan peternakan surya (Kamuyu et al., 2018; Suh et al., 2019). Pada penelitian terbaru di Indonesia pada panel surya terapung dengan menggunakan metode *remote sensing analysis* telah menunjukkan bahwa terdapat perbedaan sebesar 8 derajat celsius antara suhu permukaan darat dan danau serta lingkungan sekitarnya, pada rerata setahun (Sukarso and Kim, 2020).

4. Tantangan yang dihadapi

Kebaruan dari teknologi ini menyebabkan banyak keraguan, khususnya apabila pemasangan pada area yang berhubungan dengan pemangku kepentingan dengan kepentingan yang berbeda, membuat evaluasi secara sosio-environmentalis cukup rumit. Sebagai teknologi yang memiliki berbagai keraguan karena keterbaruannya, sampai sekarang hampir tidak ada kebijakan yang jelas mengenai penggunaannya. Salah satu contoh yang ada adalah regulasi aturan dari pemerintah Vietnam yang memberikan harga pembelian lebih tinggi sekitar 8% atau lebih tinggi daripada harga pembelian untuk listrik yang dihasilkan dari panel surya terapung dibandingkan dengan panel surya yang dipasang di tanah (ground-mounted PV). Harga pembelian untuk listrik yang dihasilkan dari FPV adalah sekitar USD 0.0769 per kilowatt-jam (kWh), sedangkan harga pembelian untuk listrik dari panel surya yang dipasang di tanah adalah lebih rendah. Hal ini mencerminkan insentif dari pemerintah Vietnam untuk mendorong pengembangan teknologi FPV dan energi terbarukan. Pertumbuhan

global dari pasar panel surya terapung memerlukan lebih dari harga pembelian listrik yang kompetitif. Hal ini juga memerlukan pengembangan peraturan dan kebijakan yang luas. Untuk mengembangkan kerangka kerjaseperti itu, diperlukan investasi yang didukung oleh pemerintah dalam penelitian untuk mengatasi ketidakpastian yang terkait dengan dampak lingkungan dari teknologi FPV, pemahaman persepsi masyarakat terhadap teknologi ini, dan penanganan kekhawatiran mereka. Selain itu, perlu ada klarifikasi mengenai hak air untuk pemilik dan operator, serta aksesibilitas ke FPV jika mereka diinstal di area-area terbatas, termasuk sistem terintegrasi dengan pembangkit listrik tenaga air.

Badan perairan secara intrinsik memiliki sifat yang dinamis karena interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Serupa halnya dengan panel surya terapung yang dapat terpengaruh oleh faktor eksternal. Kejadian seperti Badai Faxai yang terjadi di negara Jepang pada September 2019, adalah contoh dari sebuah kejadian langka yang dapat dianggap sebagai pengecualian dan skenario ekstrim, yang mampu membuktikan bahwa adanya resiko terhadap panel surya terapung. Angin yang berkecepatan 193 km/h mematahkan modul, yang kemudian saling menumpuk, menyebabkan *overheat* dan terjadinya kebakaran, merusak panel surya terapung Kyocera dengan kapasitas 13.7 MW (Bellini, 2019). Awal tahun 2022, panel surya terapung dengan kapasitas 17-MW pada Perancis Selatan mengalami insiden kebakaran, diakibatkan oleh terpapar terhadap angin kencang yang berlama beberapa hari, menyebabkan gesekan pada kabelnya. Walaupun hal ini adalah insiden kecil, hal ini menunjukkan efek samping dari pengausan dan risiko cuaca walaupun tidak berlangsung lama (Beyer, 2022). Apabila api menyebar pada panel surya terapung, kombinasi dari listrik, api, dan air dapat menyebabkan pemadaman api sebuah tantangan yang sulit. Kekhawatiran lainnya adalah kerentanan rusak pada pelampung, yang dapat menyebabkan struktur mengapung tenggelam. Insiden seperti ini menunjukkan pentingnya investasi dalam kebijakan pendukung, termasuk kompensasi keuangan jika kecelakaan terjadi, dan yang lebih penting adalah investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi FPV (FPVs).

KESIMPULAN

Ladang surya terapung adalah sebuah konsep baru untuk menghasilkan energi

bersih, dan semakin banyak perusahaan yang bekerja pada setiap aspek yang berbeda pada teknologi ini, termasuk pada desain pelampung dan bahan materi yang digunakan. Pemberian izin pengeboran baru, pelonggaran batasan penggunaan batu bara, dan subsidi bahan bakar fosil dapat mempengaruhi prioritas pasokan energi dalam jangka pendek. Namun, dalam jangka panjang, upaya untuk mendiversifikasi sumber energi dan mengembangkan rencana dan kerangka kerja untuk menerapkan teknologi bersih yang baru dapat memfasilitasi investasi baru dalam ladang solar terapung (FPVs). FPVs dapat membantu negara-negara memenuhi tiga tantangan utama dalam sektor energi (energy trilemma) dan memainkan peran penting dalam mendekarbonisasi sektor energi dan memenuhi pertumbuhan permintaan listrik. Dengan kata lain, langkah-langkah ini dapat mendukung perkembangan teknologi bersih dan peningkatan keberlanjutan dalam pasokan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puja serta puji syukur kehadirat Allah Swt yang telah melimpahkan nikmat sehat dan nikmat iman, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian. Terimakasih kepada orang tua yang memberikan dukungan bagi anaknya dalam menjalankan penelitian. Terimakasih kepada Ibu Ayang Armelita Rosalia S. Pi., M. Si. selaku dosen mata kuliah Aplikasi Matematika, Sains, Teknologi, dan Rekayasa atas semua ilmu serta nasihat yang diberikan selama ini terutama di mata kuliah Aplikasi Matematika, Sains, Teknologi, dan Rekayasa. Serta seluruh anggota tim peneliti yang telah mengerahkan seluruh waktu, tenaga, dan pikirannya sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan lancar dan selesai sesuai waktu yang diinginkan. Dan seluruh pihak yang turut andil dalam penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameller, J., Rinaudo, J.D., and Merly, C. (2020). The contribution of economic science to brownfield redevelopment: a review. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 16, 184–196.
- Al Garni, H.Z., and Awasthi, A. (2018). Solar PV power plants site selection: a review.

- In *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (Elsevier), pp. 57–75.
- Brinkworth, B.J., and Sandberg, M. (2006). Design procedure for cooling ducts to minimize efficiency loss due to temperature rise in PV arrays. *Sol. Energy* 80, 89–103.
- Bellini, E. (2019). Japan's Largest Floating PV Plant Catches Fire after Typhoon Faxai Impact – PV Magazine International (PV Magazine).
- Beyer, M. (2022). Akuo Speaks Out on Recent Fire Accident at its 17MW Floating PV Plant in France – PV Magazine International (PV Magazine).
- Choi, Y.K. (2014). A study on power generation analysis of floating PV systems considering environmental impact. *Int. J. Softw. Eng. Appl.* 8, 75–84.
- Cazzaniga, R., Cicu, M., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G.M., and Ventura, C. (2018). Floating photovoltaic plants: performance analysis and design solutions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81, 1730–1741.
- Dzikrillah, A., Fahriza, S. P., Lisana, R. N., Kisty, H. M., Yoga, M. I. A., & Anzani, L. (2022, December). DAMPAK PENCEMARAN AIR LIMBAH PLTU PAITON TERHADAP KEBERLANGSUNGAN EKOSISTEM AKUATIK. In *Indonesian Conference of Maritime* (Vol. 1, No. 1, pp. 26-32).
- FATMI, N., & MUHAMMAD, I. (2021). Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Pada Pembinaan Penghematan Energi Bagi Masyarakat Kurang Mampu Di Desa Blang Panyang Kecamatan Muara Satu. *Krida Cendekia*, 1(05)
- Greenpeace. (2021). "Pencemaran Laut oleh Limbah PLTU: Ancaman Terhadap Lingkungan dan Kesejahteraan Manusia." Greenpeace Indonesia.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *Floating Solar: A Win-Win for Climate and the Economy*. Paris: International Energy Agency.
- Haas, J., Khalighi, J., de la Fuente, A., Gerbersdorf, S.U., Nowak, W., and Chen, P.J. (2020). Floating photovoltaic plants: ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Convers. Manag.* 206, 112414.
- Hasan, H. (2012). perancangan pembangkit listrik tenaga surya di pulau Saugi. *Jurnal riset dan teknologi kelautan*, 10(2), 169-180.
- Harvard Business Review. (2022). "Mengatasi Tantangan Implementasi Panel Surya Terapung di Indonesia." *Harvard Business Review*, 15(2), 45-52.

- Kamuyu, W.C.L., Lim, J., Won, C., and Ahn, H. (2018). Prediction model of photovoltaic module temperature for power performance of floating PVs. *Energies* 11, 447.
- Lopes, M.P.C., Nogueira, T., Santos, A.J.L., Castelo Branco, D., and Pouran, H. (2022). Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil. *Renew. Energy* 181, 1023–1033.
- Paerl, H.W., Otten, T.G., and Kudela, R. (2018). Mitigating the expansion of harmful algal blooms across the freshwater-to-marine continuum. *Environ. Sci. Technol.* 52, 5519–5529. 197, 111825.
- Pouran, H.M., Lopes, M.P.C., Ziar, H., Alves Castelo Branco, D., and Sheng, Y. (2021). Evaluating floating photovoltaics potential in providing clean energy and supporting agricultural growth in Vietnam. *Climate Compatible Growth*.
- Pouran, H.M. (2018a). From collapsed coal mines to floating solar farms, why China's new power stations matter. *Energy Pol.* 123, 414–420.
- Pouran, H.M., Banwart, S.A., and Romero-Gonzalez, M. (2018). Characterizing the cell surface properties of hydrocarbon-degrading bacterial strains, a case study. In *Handbook of Environmental Materials Management* (Springer International Publishing), pp. 1–28.
- Putri, D. A., & Sahara, L. Pengaruh Limbah Air Panas Pada Kualitas Hasil Tangkapan Di Perairan Laut Di Sekitar Pltu Sumuradem Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 17(4), 262-270.
- Sahu, A., Yadav, N., and Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 66, 815–824.
- Song, J., and Choi, Y. (2016). Analysis of the potential for use of floating photovoltaic systems on mine pit lakes: case study at the SsangYong open-pit limestone mine in Korea. *Energies* 9, 102.
- Suh, J., Jang, Y., and Choi, Y. (2019). Comparison of electric power output observed and estimated from floating photovoltaic systems: a case study on the Hapcheon Dam, Korea. *Sustainability* 12, 276.

- Sukarso, A.P., and Kim, K.N. (2020). Cooling effect on the floating solar PV: performance and economic analysis on the case of west Java province in Indonesia. *Energies* 13, 2126.
- Suwartha, N., Adhi Setiawan, E., and Maarif, S. (2022). Analysis of biological, chemical, and physical parameters to evaluate the effect of floating solar PV in Mahoni Lake, Depok, Indonesia: mesocosm experiment study. *J. Ecol. Eng.* 23, 201–207
- Tatabhatla, V.M.R., Agarwal, A., and Kanumuri, T. (2019). Improved power generation by dispersing the uniform and non-uniform partial shades in solar photovoltaic arrays. *Energy Convers. Manag.*
- World Bank Group; ESMAP; SERIS (2018). *Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report - Executive Summary* (World Bank Group).
- Willem,R.(2018). *Pemanfaatan Ruang Pesisir Dan Laut Yang Berkeadilan The Utilization Of Coastal And Marine Of Justice.*