



Kemajuan Perencanaan dan Dampak Potensial Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung Skala Utilitas di Waduk Cirata, Jawa Barat

Planning Progress and Potential Impact of a Utility-Scale Floating Solar Power Plant Development in Cirata Reservoir, West Java

Asirin¹

Departemen Ilmu Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Perdesaan, IPB University, Bogor, Indonesia

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Hermanto Siregar

Departemen Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Bogor, Indonesia

Bambang Juanda

Departemen Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Bogor, Indonesia

Galuh Syahbana Indraprahasta

Pusat Riset Kependudukan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Artikel Masuk : 28 December 2022

Artikel Diterima : 4 April 2023

Tersedia Online : 31 Agustus 2023

Abstrak: Pemanasan global akibat emisi gas rumah kaca yang besar dari sektor energi telah menjadi salah satu isu utama dalam pembangunan wilayah. Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk melaksanakan tujuan pembangunan wilayah berkelanjutan, khususnya di bidang energi. Sebagai bukti nyata komitmen tersebut, pemerintah Indonesia bekerjasama dengan pihak swasta akan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terapung skala utilitas di Waduk Cirata, Jawa Barat, Indonesia. Pembangunan infrastruktur ini diyakini akan memberikan manfaat, namun ditengarai juga dapat menimbulkan dampak negatif. Sejauh mana kemajuan perencanaan PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata dan apa dampak potensial pembangunan infrastruktur tersebut untuk pengembangan wilayah berkelanjutan belum dieksplorasi lebih lanjut. Artikel ini mengisi celah tersebut. Artikel ini bertujuan untuk menguraikan kemajuan perencanaan PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata dan mengidentifikasi dampak potensial pembangunan infrastruktur tersebut untuk pembangunan wilayah yang berkelanjutan. Artikel ini menggunakan metode analisis data kualitatif dengan teknik *open coding*. Artikel ini menemukan bahwa dampak positif potensial PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata meliputi produksi energi, peningkatan

¹ Korespondensi Penulis: Departemen Ilmu Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Perdesaan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

Email: asirin@pwk.itera.ac.id

ekonomi wilayah, penghindaran emisi gas rumah kaca, pengurangan evaporasi air, dan transfer teknologi. Dampak negatif potensial meliputi eksternalitas negatif dan potensi konflik sosial dengan masyarakat sekitar. Pada bagian akhir, artikel ini menyarankan beberapa kebijakan yang antisipatif dan saran studi lanjutan.

Kata Kunci: eksternalitas; energi terbarukan; pembangkit listrik tenaga surya terapung; pengembangan wilayah berkelanjutan.

Abstract: *Global warming due to large greenhouse gas emissions from the energy sector has become one of the main issues in regional development. The Indonesian government has committed to implementing sustainable regional development goals, especially in the energy sector. As tangible evidence of this commitment, the Indonesian government in collaboration with private parties will build a utility-scale floating solar power plant (PLTS) in Cirata Reservoir, West Java, Indonesia. It is believed that the development of this infrastructure will provide benefits, but it is also suspected that it may have negative impacts. How far the planning for a utility-scale floating solar power plant at Cirata Reservoir has progressed and what the potential impacts of such infrastructure are for sustainable regional development have not been explored. This article fills that gap. This article aims to outline the planning progress of utility-scale floating solar power plants in Cirata Reservoir and identify the potential impacts of such infrastructure for sustainable regional development. The article uses qualitative data analysis methods with open coding techniques. The article identifies that the potential positive impacts of a utility-scale floating solar power plant at Cirata Reservoir include energy production, regional economic improvement, avoided greenhouse gas emissions, reduced water evaporation, and technology transfer. Potential negative impacts include negative externalities and potential social conflicts with surrounding communities. Finally, the article suggests some anticipatory policies and suggestions for further studies.*

Keywords: *externality; renewable energy; floating solar power plants; sustainable regional development.*

Pendahuluan

Pembangunan wilayah di Jawa Barat menghadapi tantangan perubahan iklim. Dampak perubahan iklim terjadi di Jawa Barat seperti cuaca ekstrem, siklon tropis, kenaikan muka air laut, peningkatan suhu wilayah, dan peningkatan suhu permukaan laut (DLH Jawa Barat, 2018; KLHK 2021). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang berkontribusi terhadap perubahan iklim di Jawa Barat antara lain CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, namun emisi GRK yang utama adalah CO₂ (DLH Jawa Barat, 2018). Emisi GRK ini berasal dari kegiatan industri, pertanian, transportasi, energi, limbah, dan perubahan tutupan lahan (DLH Jawa Barat, 2018). Total emisi GRK Jawa Barat tahun 2017 sebesar 58.775,73 ribu ton CO₂ eq (DLH Jawa Barat, 2018). Kontribusi emisi GRK terbesar diberikan oleh konsumsi energi 44,1%, limbah 18,1%, transportasi 17,7%, perubahan tutupan lahan 10,8%, dan pertanian 9,3% (DLH Jawa Barat 2018). Total emisi GRK di Jawa Barat tahun 2030 berdasarkan skenario *Business as Usual* (BaU) sebesar 135.212,40 ribu ton CO₂ eq, dengan rincian konsumsi energi yang terbesar sebesar 40,7%, disusul oleh transportasi sebesar 31%, perubahan tutupan lahan sebesar 11,8%, limbah sebesar 11 %, dan pertanian sebesar 5,6%. Namun pada tahun 2016, pencapaian target penurunan emisi GRK Provinsi Jawa Barat terhadap BaU 2030 hanya mencapai 6,17% (DLH Jawa Barat, 2018).

Sektor energi menghasilkan emisi CO₂ terbesar di Jawa Barat. Sektor tersebut menyumbang 44,1% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) Jawa Barat, yang meliputi subsektor ketenagalistrikan, khususnya dari kelistrikan berbahan bakar fosil (tidak terbarukan) (DLH Jawa Barat, 2018). Listrik di Jawa Barat dihasilkan dari 61,71% energi fosil yang dihasilkan oleh batu bara, BBM/gas, dan solar (Dinas ESDM Jawa Barat, 2018).

Hingga tahun 2018, Jawa Barat memiliki 10 pembangkit listrik energi fosil utama yang meliputi tiga pembangkit berbahan bakar batubara, empat pembangkit berbahan bakar minyak dan gas, serta tiga pembangkit berbahan bakar gas dengan kapasitas terpasang 5.152 MW (Dinas ESDM Jawa Barat, 2018).

Selain isu perubahan iklim di Jawa Barat, pada tingkat nasional target bauran energi ditargetkan mencapai 23% pada tahun 2025. Selain itu, penyediaan energi bersih melalui pemanfaatan energi terbarukan dilakukan dalam rangka untuk mencapai target penurunan Gas Rumah Kaca (GRK). Pemerintah Indonesia mencanangkan target penurunan Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 29% dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2030, serta mencapai emisi nol bersih pada tahun 2060 atau lebih cepat (KLHK, 2021). Oleh karena itu, Pemerintah Indonesia mengupayakan mitigasi perubahan iklim dan pencapaian target tersebut, salah satunya adalah transisi energi dengan mengembangkan energi terbarukan di bidang ketenagalistrikan. Pada wilayah Jawa barat, hingga tahun 2018, Provinsi Jawa Barat memiliki 22 pembangkit listrik energi terbarukan dengan total kapasitas terpasang sebesar 3.183,4 MW (Dinas ESDM Jawa Barat, 2018). Energi baru terbarukan untuk kelistrikan di Jawa Barat telah memberikan kontribusi 38,29% yang berasal dari tenaga air dan panas bumi (Dinas ESDM Jawa Barat, 2018). Seluruh daya yang dihasilkan disalurkan ke Sistem Jaringan Transmisi Nasional (JTN) Jawa-Bali (Dinas ESDM Jawa Barat, 2018). Selain itu, Provinsi Jawa Barat memiliki potensi sumber energi terbarukan. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) 1.018 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) 119,8 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) 653 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1.100 MW dan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) 40 MW (Dinas ESDM Jawa Barat, 2018). Pemerintah Pusat dan Pemerintah Jawa Barat memiliki kebijakan untuk terus mengembangkan energi baru terbarukan tambahan sebesar 5.397 MW pada tahun 2021-2025 baik untuk tujuan ketahanan energi, penurunan emisi maupun untuk pengembangan perekonomian wilayah (Kementerian ESDM 2018, Dinas ESDM Jawa Barat, 2018) (lihat Tabel 1.).

Tabel 1. Rencana Pengembangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2021-2026 di Jawa Barat

No	Type	Location/Name	Capacity (MW)	Target COD
1.	PLTS terapung	Cirata	145	2022
2.	PLTSampah	-	20	2022
3.	Panas Bumi	Patuha (FTP2)	55	2022
4.	Panas Bumi	Cibuni (FTP2)	10	2022
5.	<i>Minihydro</i>	Cilaki 1A	3.144	2022
6.	PLTS/PLTBayu	-	150	2023
7.	Panas Bumi	Tangkuban Perahu–Ciater (FTP2)	20	2023
8.	Panas Bumi	Tangkuban Perahu–Ciater (FTP2)	20	2024
9.	Panas Bumi	Tangkuban Perahu–Ciater (FTP2)	20	2024
10.	<i>Pump Storage</i>	<i>Upper Cisokan Pump Storage</i>	260	2024
11.	<i>Pump Storage</i>	<i>Upper Cisokan Pump Storage (FTP2)</i>	260	2024
12.	<i>Pump Storage</i>	<i>Upper Cisokan Pump Storage (FTP2)</i>	260	2025
13.	<i>Pump storage</i>	<i>Upper Cisokan Pump Storage (FTP2)</i>	260	2025
14.	Panas Bumi	-	653	2025
15.	Panas Bumi	Wayang Windu (FTP2)	120	2025

No	Type	Location/Name	Capacity (MW)	Target COD
Total			5.397	

Sumber: Kementerian ESDM 2018; Dinas ESDM Jawa Barat, 2018

Potensi pembangkit energi terbarukan terbesar di Jawa Barat berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan potensi 1.100 MW (Dinas ESDM, 2018). Untuk mewujudkan hal tersebut, salah satu inovasi yang diterapkan dalam pengembangan energi terbarukan di Jawa Barat adalah pembangunan PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata. Namun ilmu pengetahuan perlu melihat secara kritis rencana proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga surya dalam perspektif yang komprehensif mengenai potensi manfaat dan potensi permasalahan yang dapat muncul di masa mendatang, sehingga pembangunan tersebut dapat diantisipasi untuk mencapai target optimal dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Beberapa literatur terkait konteks PLTS terapung di Waduk Cirata telah diulas namun kajiannya fokus pada hal-hal teknis (Sukmawan et al 2021), lokasi dan karakteristik perairan waduk (Sibuea et al 2021, Rosa-Clot, 2020, Marupa et al 2021), dan tekno-ekonomi (Wildan, 2021; Kasim, 2018). Kajian terhadap rencana proyek PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata serta potensi manfaat dan permasalahan yang dapat timbul belum dilakukan. Padahal kajian pada topik tersebut diperlukan untuk memberi masukan dalam rangka memaksimalkan manfaat dan memitigasi permasalahan yang dapat muncul di masa yang akan datang, agar kedepannya dapat dilakukan penelitian lanjutan dan upaya-upaya antisipatif. Oleh karena itu, artikel ini berupaya mengisi celah tersebut.

Setelah menyampaikan metode penelitian, artikel ini kemudian menerangkan kemajuan perencanaan pembangunan PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata. Pada bagian selanjutnya, artikel ini menyajikan hasil identifikasi dampak potensial infrastruktur tersebut untuk pembangunan wilayah berkelanjutan. Akhirnya, kesimpulan dan saran untuk agenda penelitian masa depan diusulkan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder dari hasil pengumpulan data dan kajian sebelumnya yang dilakukan oleh pihak tertentu yang kredibel dapat digunakan untuk tujuan penelitian baru (Bishop & Kuula-Luumi, 2017). Penelitian ini menggunakan analisis data kualitatif dengan teknik *open coding* untuk mengkategorisasi data menjadi beberapa tema dan kategori.

Tahap analisis terdiri dari dua tahap utama. Pertama, penelitian ini menguraikan kemajuan perencanaan pembangunan PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata. Pada tahap pertama ini, deskripsi dilakukan berdasarkan hasil elaborasi dari sumber data yang berasal dari DPR (2020), PJB (2020), dan PLN (2021). Kedua, identifikasi dampak potensial infrastruktur tersebut untuk pembangunan wilayah berkelanjutan. Pada tahap kedua ini, identifikasi dilakukan berdasarkan hasil analisis data yang bersumber dari PLN (2021), EBTKE ESDM (2021) dan hasil sintesis dari beberapa studi kasus sejenis di wilayah lain yang bersumber dari literatur ilmiah.

Hasil dan Pembahasan

Kemajuan Perencanaan Pembangunan PLTS Terapung Skala Utilitas di Waduk Cirata

Gambaran Sistem Infrastruktur Ketenagalistrikan Saat Ini di Kawasan Waduk Cirata

Sebelum mendeskripsikan status dan kemajuan perencanaan pembangunan PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata, artikel ini terlebih dahulu mendeskripsikan dua

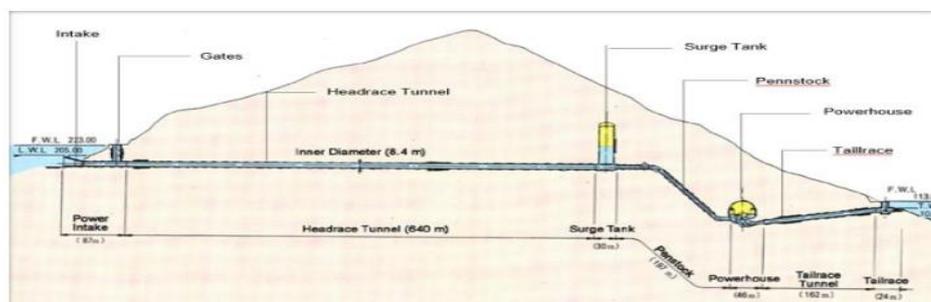
pembangkit listrik di kawasan Cirata yang saat ini beroperasi, antara lain PLTA Cirata dan PLTS Cirata (di darat). PLTA Cirata beroperasi sejak tahun 1997 terletak di Desa Cadas Sari, Kecamatan Tegal Waru, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Kapasitasnya 1.008 MW (8 X 126 MW). Produksi energi sebesar 1428 GWh/tahun. Investasi sebesar 130 juta USD. Pengelolanya adalah Unit Pembangkit Cirata (UP Cirata) dan Badan Pengelola Waduk Cirata (BPWC). PLTA Cirata merupakan salah satu PLTA *cascade* di wilayah Sungai Citarum (lihat Gambar 1 dan gambar 2). PLTA Cirata terletak di tengah, di atasnya terdapat PLTA Saguling berkapasitas 700,72 MW milik PLN dan dioperasikan oleh PT Indonesia Power, dan di bawahnya terdapat PLTA Ir. H. Djuanda yang dioperasikan oleh Perum Jasa Tirta II. PLTA Cirata memiliki peran strategis dalam kelistrikan nasional. PLTA Cirata mendukung beban puncak listrik Jawa Bali Madura. Selain itu, PLTA Cirata menyuplai 45% beban puncak regional Jawa Barat.



Sumber: DPR, 2020; PJB, 2020

Gambar 1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cascade di Wilayah Sungai Citarum

Secara teknis, luas waduk Cirata seluas 6.500 Ha dengan debit 135 m³/dt. Faktor kapasitas adalah 16%. Tipe Bendungan Beton dengan muka beton bendungan setinggi 126,5 m dan panjang 451,5 m dengan elevasi normal 220 m (rendah 205 m). Turbin PLTA Cirata adalah turbin Francis (VA-ELIN Austria) dengan *head* 112,5 m. Interkoneksi dengan sistem Jamali 500 kV. PLTA Cirata memiliki perangkat keandalan antara lain: *black start/line charging* jika sistem 500 kV mati total/*tripped*; sistem cadangan untuk gangguan pembangkitan lain di luar beban puncak; dan memuat mode operasi kontrol frekuensi (LFC - remote control oleh P3B).



Sumber: DPR, 2020; PJB, 2020

Gambar 2. Sistem PLTA Cirata

Selain PLTA, di darat juga terdapat PLTS Cirata. PLTS Cirata di darat merupakan pembangkit yang dirancang khusus untuk kepentingan penelitian dan pengayaan ilmu atau pengalaman. PT PJB mendirikan *C-Gen Research Center* dengan fasilitas PLTS Cirata. Terletak di Desa Cadassari, Kecamatan Tegalwaru, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Nilai investasinya mencapai Rp 28 miliar. Luas wilayah $\pm 0,9$ Ha (lihat Gambar 3). PLTS Cirata di darat beroperasi sejak 2015 dengan kapasitas 1,04 MWp.

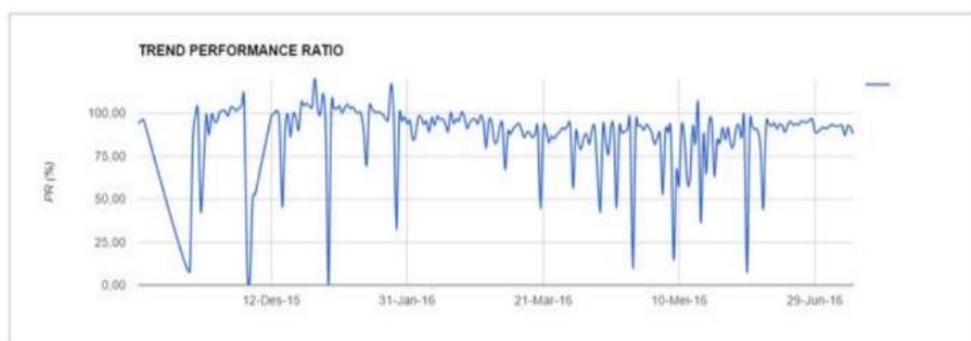
Secara teknis PLTS ini menggunakan modul film tipis jenis CIS (Copper Indium Selenium) dari Solar Frontier Japan. Faktor kapasitas rata-rata 14% (3,6 jam/hari), saat mendung faktor kapasitas 11,6% (2,8 jam/hari) dan saat hujan faktor kapasitas 21,5% (5,16 jam/hari). Efisiensinya adalah 13,8%. PLTS Cirata di darat menggunakan inverter: (1) On Grid, Transformerless (SMA Jerman), (2) Kapasitas 25 x 20 KW (String Inverter) & 1 x 550 kW (Central Inverter), dan (3) tegangan keluaran 20.000 V & 380 V - 3 fase.



Sumber: PJB, 2020

Gambar 3. Kompleks PLTS Cirata di Darat Beoperasi Sejak 2015.

Pembangkit listrik tenaga surya di darat telah menghasilkan energi 3000 - 5500 kWh/hari. Rasio kinerja standar pembangkit listrik tenaga surya adalah 75% - 80%. Rasio kinerja rata-rata PLTS Cirata 1 MW: (a) 87,32% (rata-rata 10 bulan, termasuk gangguan) dan (b) 93% (rata-rata harian saat tidak terganggu). Penetrasi hybrid PV dan PLTA menghasilkan kombinasi yang sangat baik dengan penetrasi PV lebih dari 20%.



Sumber: DPR, 2020; PJB, 2020

Gambar 4. Kinerja PLTS Cirata di Darat

Tujuan Pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata

Proyek ini dianggap sebagai PLTS Terapung Cirata yang fenomenal, proyek energi surya terbesar di Indonesia, bahkan terbesar di Asia Tenggara (PLN, 2021). Pembangunan PLTS Terapung Cirata merupakan pionir inovasi dalam pengembangan pembangkit listrik yang memanfaatkan lahan waduk mengingat Provinsi Jawa Barat, dan Indonesia pada umumnya, memiliki banyak waduk, situ, dan danau serta ruang perairan lainnya yang berpotensi untuk dijadikan tempat PLTS Terapung. Indonesia memiliki potensi PLTS terapung di kawasan PLTA eksisting sebesar 12 GW di 28 lokasi di waduk atau danau dengan potensi sekitar 28 GW di 375 lokasi. Pembangunan PLTS semakin layak secara finansial di Indonesia khususnya di Jawa Barat dengan memanfaatkan *reservoir* yang ada mengingat harga yang kompetitif, kemajuan teknologi baterai, dan kemajuan teknologi panel surya yang semakin murah (PLN, 2021). Proyek tersebut ditetapkan sebagai proyek strategis nasional pada 20 Oktober 2020. Pemerintah mengklaim proyek ini merupakan proyek ramah lingkungan yang akan merevolusi pengembangan energi terbarukan di tanah air. Proyek ini akan berkontribusi pada bauran energi yang ditargetkan mencapai 23% pada tahun 2025. Penyediaan energi bersih melalui pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi matahari, merupakan salah satu prioritas untuk mencapai target penurunan Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 29 persen dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2030, serta mencapai emisi nol bersih pada tahun 2060 atau lebih cepat. Dengan tarif yang kompetitif, proyek PLTS Terapung Cirata merupakan proyek pionir, dengan inovasi teknologi pertama di Indonesia. Ini merupakan proyek strategis nasional, yang diharapkan dapat menjadi percontohan dan percontohan pengembangan pembangkit energi terbarukan di Indonesia di masa mendatang. Pemerintah berharap PLTS Terapung yang akan dibangun di waduk Cirata, Jawa Barat, menjadi percontohan bagi daerah lain. Tujuan proyek PLTS Terapung Cirata adalah sebagai berikut (DPR, 2020):

- a. Memanfaatkan lahan kawasan waduk PLTA Cirata untuk dapat menghasilkan listrik selain PLTA.
- b. Meningkatkan bauran energi terbarukan dan memenuhi peningkatan permintaan listrik dari energi terbarukan di sistem Jawa.
- c. Sebagai trend setter pembangkit listrik tenaga surya skala besar di Indonesia yang memiliki tarif yang dapat bersaing dengan energi fosil.
- d. Sebagai pilot project pembangkit listrik tenaga surya terapung skala besar di Indonesia dan di kawasan (Asia Tenggara).
- e. Menambah portofolio PT PJB dalam kaitannya dengan pembangkit energi terbarukan.
- f. Meningkatkan peran industri lokal dalam kaitannya dengan industri solar module dan industri solar floater untuk mencapai fungsi National Capacity Building.
- g. Sebagai sarana untuk meningkatkan hubungan bilateral Indonesia dengan negara-negara Timur Tengah, khususnya UEA terkait pengembangan investasi di bidang energi.

Linimasa Kemajuan Perencanaan Pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata

Kegiatan utama pengagasan rencana pembangunan PLTS ini ditandai sejak ditandatanganinya Nota Kesepahaman antara Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Uni Emirat Arab (UEA) tentang Kerjasama Energi pada 16 Januari 2017. Hingga akhirnya pada 2 Agustus 2021, *financial close* dilaksanakan. Perkembangan rencana proyek PLTS Cirata disajikan pada Tabel 2.

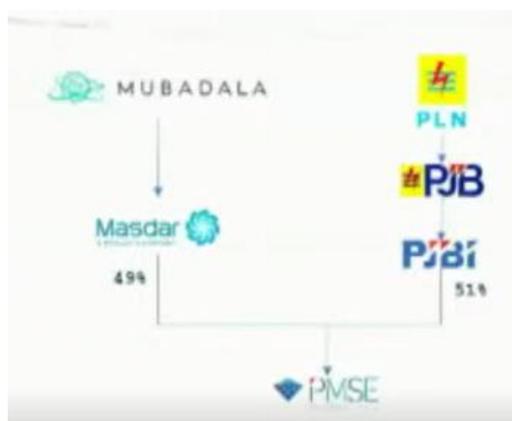
Tabel 2. Analisis Linimasa Kemajuan Perencanaan Proyek PLTS terapung di Waduk Cirata

Waktu	Aktivitas Utama
16 Januari 2017	Penandatanganan <i>Memorandum of Understanding</i> (MoU) antara Pemerintah Indonesia dan United Arab Emirates (UAE) pada bidang kerja sama energi

Waktu	Aktivitas Utama
16 Juli 2017	<i>Memorandum of Understanding (MoU)</i> antara PT PJB dan MASDAR tentang <i>Development of Large-Scale Power Projects in Indonesia</i>
30 Agustus 2017	PT PJB's <i>Circular General Meeting of Shareholders (GMS)</i> , PT PLN (Persero) menyetujui bahwa PT PJB akan membangun PLTS atau <i>Floating Photovoltaic Solar Power Plant</i> .
19 Desember 2018-19 Agustus 2019	Proses seleksi mitra secara terbuka
1 April 2019	Pengembangan TOR Cirata 145 MW AC <i>Floating Solar Power Plant project</i> menggunakan metode the <i>Right to Match (RTM)</i> .
19 Agustus 2019	Penentuan mitra potensial oleh the <i>Board of Directors (BOD)</i> of PT PJB
5 September 2019	Penentuan calon mitra oleh PT PJB <i>Board of Commissioners</i>
11 September 2019	Penentuan mitra strategis oleh PLN sebagai <i>shareholder</i>
12 Januari 2020	<i>Power purchase agreement (PJBL)</i> ditandatangani dengan PT PLN (Persero)
Januari 2020	<i>Power purchase agreement (PPA)</i> ditandatangani
Juli 2020	<i>Power purchase agreement (PPA)</i> efektif
17 Mei 2021	<i>Financing Date</i>
2 Agustus 2021	<i>Financial Close</i>
November 2022	<i>Target Commercial Operation Date (COD)</i>

Sumber: Diolah dari DPR, 2020; PLN, 2021.

Komitmen pemerintah untuk meningkatkan bauran energi terbarukan mendapat dukungan dari berbagai lembaga perbankan internasional. Salah satunya melalui proyek PLTS terapung skala utilitas di Waduk Cirata yang telah mencapai kesepakatan *financial close* pada 2 Agustus 2021. Tiga bank yang siap memberikan pinjaman untuk mendanai pembangunan PLTS terbesar di Asia Tenggara itu antara lain Sumitomo Mitsui Banking Corporation (SMBC), Societe Generale dan Standard Chartered Bank. PLTS terapung skala utilitas di waduk Cirata ditargetkan beroperasi secara komersial (COD) pada November 2022. Nilai investasi proyek ini mencapai USD 129 juta. Harga listrik dari pembangkit listrik tenaga surya ini cukup bersaing, yakni US\$5,8 sen per kilowatt hour (kWh), meski lebih mahal dibandingkan harga listrik dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara yang hanya US\$3 sen per kWh, namun dampak lingkungannya lebih rendah. Teknologi PLTS akan semakin baik dan harga jual PLTS juga akan turun dari US\$10 sen per kWh menjadi US\$5 sen per kWh. PLTS terapung skala utilitas di waduk Cirata merupakan proyek *Independent Power Producer (IPP)*, kerjasama antara PT PJB dan MASDAR (UEA).



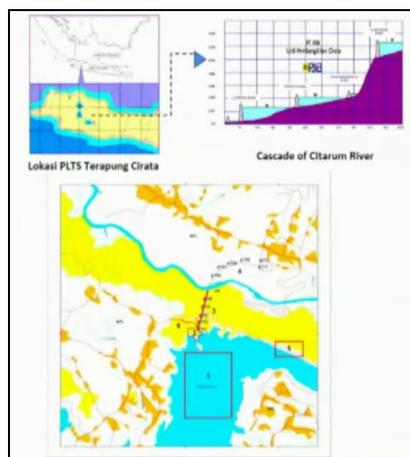
Sumber: PLN, 2021

Gambar 5. Struktur Kepemilikan Proyek PLTS Terapung di Waduk Cirata

PT PJB merupakan anak perusahaan PT PLN Persero, sebuah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang sahamnya 100% dimiliki oleh Pemerintah Republik Indonesia. MASDAR adalah anak perusahaan Mubadala Investment Company, sebuah perusahaan investasi milik Pemerintah Abu Dhabi-UEA. PLTS Terapung Cirata merupakan salah satu proyek prioritas yang dipantau oleh Kantor Staf Presiden dan merupakan Proyek Strategis Nasional yang awalnya ditargetkan beroperasi pada tahun 2021. Pengembang PLTS Terapung Cirata adalah PT Pembangkitan Jawa Bali Masdar Solar Energi (PMSE). Investornya adalah PT PJBI (51%) & Abu Dhabi Future Energy Company PJSC - Masdar (49%). Perjanjian jual beli listrik (PPA) 25 Skema BOOT (membangun, memiliki, mengoperasikan, mentransfer). Tarif yang diterapkan adalah 5,8179 sen USD/kWh.

Rencana Teknis dan Desain PLTS terapung di Waduk Cirata

Pembangkit listrik tenaga surya terapung skala utilitas di Waduk Cirata ini akan dibangun dengan kapasitas 145 MWac dengan luas perairan waduk 250 hektar dan sekitarnya di Kabupaten Purwakarta dan Bandung Barat (lihat Gambar 6). Lokasi Waduk Cirata berada di dua wilayah administrasi yang berbatasan yaitu Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung Cirata 145 MW direncanakan akan berada di area terbatas Waduk Cirata, yaitu area yang terbebas dari jaring apung. Tipe modul yang akan digunakan adalah tipe film tipis CIS (Solar Frontier Japan). Faktor kapasitas rencana adalah 17,59% dengan radiasi horizontal global 1.627 kWh/m²/tahun. Transmisi akan disalurkan melalui tegangan 150 kV, dengan 11 tower sepanjang 3,2 kMs yang terhubung di GI Cirata di Desa Cadassari. Titik interkoneksi tersebut akan direncanakan berada di Gardu Induk Tegangan Tinggi Cirata 150 kV yang berjarak sekitar 4 km dari lokasi PLTS Terapung Cirata. Lahan transmisi sepanjang 4 km akan berada di lahan yang dimiliki oleh Perhutani. Status izin lingkungan PLTS terapung Cirata sudah keluar. Panel-panel surya akan menempati area perairan waduk seluas 200 hektar. Lokasi *control room*, *switchyard* dan *office building* direncanakan akan berada di lahan Perhutani, tower T01-05 juga akan berada di lahan Perhutani. Jalur transmisi: tower 06-09 direncanakan akan di lahan milik masyarakat dan tower 10-11 direncanakan akan berada di lahan PJB. Area *laydown* sementara direncanakan akan berada di lahan PJB. Lahan *laydown* dan persiapan akan menempati lahan di lahan perhutani.



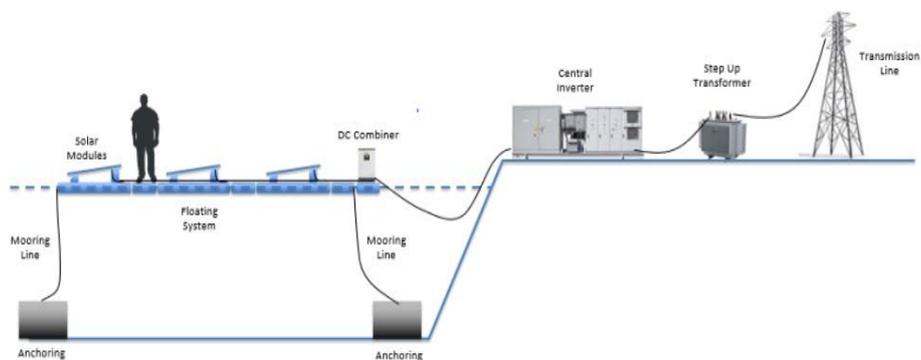
Sumber: PLN, 2021

Gambar 6. Peta Lokasi PLTS Terapung di Waduk Cirata



Sumber: PLN, 2021

Gambar 7. (a) Ilustrasi 3D dan (b) *Water Breaking* PLTS Terapung di Waduk Cirata



Sumber: DPR, 2020

Gambar 8. Desain Sistem Jaringan PLTS Terapung di Waduk Cirata

Dampak Potensial Pembangunan PLTS terapung di waduk Cirata untuk Pengembangan Wilayah Berkelanjutan

Dampak positif potensial untuk pengembangan wilayah berkelanjutan

a. Produksi energi

Pengembangan PLTS terapung Cirata berpotensi menghasilkan energi listrik yang bermanfaat bagi pengembangan wilayah berkelanjutan. Perusahaan Listrik Negara (PLN) memperkirakan PLTS terapung di Waduk Cirata berkapasitas 145 MWac akan menghasilkan energi sebesar 245 GWh/tahun (PLN 2021, EBTKE ESDM 2021). Berdasarkan data PLTS di daratan yang ada di Cirata dengan kapasitas 1,04 MWp dapat menghasilkan listrik sebesar 3000 - 5500 kWh/hari (PJB, 2020; DPR, 2020).

Potensi PLTS terapung dalam menghasilkan energi listrik juga dapat ditinjau dari pengalaman dan perkiraan hasil penelitian di tempat lain, misalnya dari Song and Choi (2016), Makhija et al (2021), Semeskandeh et al (2022), dan Peanpitak dan Singh (2021). Pembangkit listrik tenaga surya terapung 1 MW di Tambang Batu Kapur Terbuka Ssangyong di Korea diperkirakan menghasilkan 971,57 MWh pembangkit listrik tahunan (Song dan Choi, 2016). Dalam kasus pembangkit listrik tenaga surya terapung dengan kapasitas 2,5 MW di distrik Narayanpur di negara bagian Chhattisgarh India, diperkirakan dapat menghasilkan energi rata-rata sebesar 414.617.808 kWh/tahun (Makhija et al, 2021). Dalam kasus lain, pembangkit listrik tenaga surya terapung 5 kW di Laut Kaspia Iran utara diperkirakan menghasilkan energi listrik 3,99 kWh/m²/hari (Semeskandeh et al, 2022). Dalam kasus lain, pembangkit listrik tenaga surya terapung di total lima kasus di

Bendungan Kiew Kho Ma (122,9 MW), Bendungan Chulaphorn (96 MW), Bendungan Bang Lang (328 MW), Bendungan Sirikit Tahap I (728 MW) dan Bendungan Sirikit Fase II (1352 MW) di Thailand, dengan total kapasitas 2626,9 MW berpotensi menghasilkan listrik sebesar 40.096 GWh per tahun (Peanpitak dan Singh, 2021).

b. Peningkatan ekonomi lokal dan regional

Pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata berpotensi berdampak pada pembangunan ekonomi lokal dan regional. Pembangunan PLTS terapung Cirata diharapkan dapat menyerap tenaga kerja sekitar 800 orang (PLN, 2021). Proyek tersebut direncanakan dapat meningkatkan penanaman modal asing, memperbaiki iklim investasi, dan akan menciptakan lapangan kerja dalam negeri, meningkatkan industri dalam negeri, khususnya industri modul surya dan sistem terapung (PLN, 2021).

“Proyek ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam memperkuat kerja sama kedua negara. Selain itu, diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar dengan menciptakan lapangan kerja dan mengangkat perekonomian daerah” (Wakil Menteri Badan Usaha Milik Negara, 2021).

Potensi pengembangan energi surya untuk memberikan efek pada pengembangan ekonomi lokal dan regional juga dapat dilihat dari pengalaman dan perkiraan hasil penelitian di tempat lain, misalnya dari Llera et al (2013), Jenniches dan Worrel (2019), dan Cansino et al (2013). Berdasarkan data yang tercatat dari *Spanish Association for the Photovoltaics Industry* (ASIF), pada tahun 2010, pengembangan energi surya di Spanyol dapat menyerap tenaga kerja pada tahap manufaktur sebanyak 6.460 tenaga kerja, instalasi sebanyak 2.460 tenaga kerja, dan operasi dan perawatan (O&P) sebanyak 4.500 tenaga kerja, atau total 11.600 lapangan kerja (Llera et al, 2013). Sementara dari hasil pemodelan, pengembangan energi surya di Spanyol dapat menciptakan lapangan kerja pada tahap manufaktur 11.075 lapangan kerja, instalasi 2.494 lapangan kerja, operasi dan pemeliharaan (O&P) 6.296 lapangan kerja atau total 19.865 pekerjaan (Llera et al, 2013) Dalam konteks Aachen Jerman, pengembangan energi surya diperkirakan memiliki efek menciptakan lapangan kerja 16 orang tahun (0,004 orang tahun per kW, 0,005 orang tahun per MWh) (Jenniches dan Worrel, 2019)

Selain berdampak pada penciptaan lapangan kerja baru, pengembangan energi surya juga berpotensi menciptakan nilai tambah bagi pembangunan ekonomi lokal dan regional. Nilai tambah adalah laba perusahaan, pendapatan bersih karyawan perusahaan, dan pajak yang dinaikkan secara lokal atau regional (Hirschl et al. 2010; Bröcker et al. 2014; Jenniches and Worrel, 2019). Berdasarkan hasil studi di Aachen Jerman pada tahun 2014, pengembangan energi surya memberikan dampak ekonomi yang meliputi komponen keuntungan (profits) sebesar €234,181 atau 70 €/MWh, pendapatan (incomes) sebesar €439,078 atau 131 €/MWh, dan pajak sebesar €56,095 atau 17 €/MWh (Jenniches dan Worrel, 2019).

Pembangunan pembangkit listrik tenaga surya terapung juga berpotensi berdampak pada pembangunan ekonomi secara agregat di wilayah tersebut. Pengembangan energi terbarukan di Andalusia meningkat dari 11 MW pada tahun 2007 menjadi 800 MW kapasitas terpasang pada tahun 2013, diperkirakan dapat meningkatkan tingkat kegiatan ekonomi produktif sekitar 30% (Cansino, et al., 2013). Pembangunan pembangkit listrik tenaga surya akan meningkatkan kegiatan ekonomi produktif sekitar 5% selama 30 tahun (Cansino, et al., 2013).

c. Menghindari emisi GRK dan Polusi Udara

Pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata berpotensi untuk menghindari (*avoid*) emisi gas rumah kaca. PLTS terapung di Waduk Cirata diharapkan dapat menghindarkan emisi gas rumah kaca sebesar 214.000 ton/tahun (PLN, 2021). Potensi PLTS terapung dalam menghindari GRK juga dapat ditinjau dari pengalaman dan estimasi hasil penelitian di tempat lain, misalnya dari Song dan Choi (2016), Makhija et al (2021), Semeskandeh et al (2022), dan Peanpitak dan Singh (2021). Pada kasus pengembangan pembangkit listrik tenaga surya terapung di Korea dengan kapasitas 1 MW, diperkirakan penghindaran GRK sebesar 471,21 tCO₂/tahun atau senilai 172,60 tCO₂/tahun/106 USD (Song dan Choi (2016). Sementara itu, pada kasus Iran dengan kapasitas 5 kW, diperkirakan dapat menghindari GRK sebesar 5,2 tCO₂/tahun (Semeskandeh et al (2022). Pada kasus lain, PLTS terapung dengan total lima kasus di Bendungan Kiew Kho Ma (122,9 MW), Bendungan Chulaphorn (96 MW), Bendungan Bang Lang (328 MW), Bendungan Sirikit Tahap I (728 MW) dan Bendungan Sirikit Tahap II (1352 MW) di Thailand, dengan total kapasitas 2626,9 MW berpotensi dapat mengurangi GRK sebesar kurang lebih 24,22 juta tCO₂/tahun. Selain emisi GRK, pengembangan energi surya juga berpotensi menghilangkan polusi udara (SO₂, NO_x, NMVOCs). Dalam kasus Aachen Jerman pada tahun 2010, pengembangan energi surya di sana diperkirakan memiliki potensi untuk menghindari polusi udara SO₂ senilai €20.610-62.542 atau 4-62 €/MWh; NO_x senilai €11.369-31.786 - 31.786 atau 3-10 €/MWh; dan NMVOCs senilai €144-346 atau 0.04-0.1 €/MWh (Jenniches dan Worrel 2019).

d. Manfaat mengurangi penguapan air

PLTS terapung di Waduk Cirata berpotensi membantu mengurangi penguapan air. Penghematan air, jumlah air yang dihemat dapat dikonversi menjadi dua bentuk, yaitu energi dan nilai pertanian (Peanpitak dan Singh, 2021). Dalam kasus Thailand, pembangkit listrik tenaga surya terapung dalam total lima kasus di Bendungan Kiew Kho Ma (122,9 MW), Bendungan Chulaphorn (96 MW), Bendungan Bang Lang (328 MW), Bendungan Sirikit Tahap I (728 MW) dan Bendungan Sirikit Fase II (1352 MW) di Thailand, dengan total kapasitas 2626,9 MW berpotensi Pengurangan penguapan air tahunan sebesar 335,55 juta m³/tahun sangat berharga untuk pertanian (Peanpitak dan Singh (2021). 55 juta m³/tahun sangat berharga untuk pertanian, sekitar 27,85 juta USD/tahun dan untuk produksi listrik sekitar 50.461 MWh/tahun (Peanpitak dan Singh (2021). Literatur lain menyatakan bahwa penguapan air dapat dikurangi hingga 70% dengan memasang sistem FPV (Semeskandeh et al 2022).

e. Transfer teknologi

Pengembangan PLTS terapung di Waduk Cirata juga berpotensi bermanfaat untuk transfer teknologi. Pemerintah ingin PLTS terapung Cirata menjadi percontohan untuk pengembangan pembangkit energi terbarukan di daerah lain dan transfer teknologi dalam pengembangan energi terbarukan bisa terjadi.

“... PLTS Terapung Cirata diharapkan dapat menjadi pembelajaran, transfer teknologi dalam pengembangan energi terbarukan, dari salah satu pemimpin global dalam pembangkitan energi terbarukan dari Uni Emirat Arab” (Wakil Menteri Badan Usaha Milik Negara), 2021).

Peran pengembangan infrastruktur energi surya untuk transfer teknologi dapat dipelajari berdasarkan pengalaman dan literatur, misalnya dari Theresa dan Gregersen (2020) dalam kasus energi angin di Kenya dan Lema et al (2021) dalam kasus skala besar. investasi pengembangan energi terbarukan di sub-Sahara Afrika.

Dalam kasus transfer teknologi energi angin di Kenya, interaksi multi-loop terjadi (Theresa dan Gregersen (2020). Interaksi ini menciptakan peluang pembelajaran lokal yang lebih baik. Investasi diperlukan untuk membangun kemampuan kolektif. Kemampuan

kolektif akan mengembangkan pembelajaran proyek yang lebih luas dan lebih maju pembelajaran untuk industrialisasi berkelanjutan (Theresa dan Gregersen, 2020). Salah satu bentuk transfer teknologi adalah melalui pelatihan implementasi proyek (Lema, et al., 2021). Lema et al. (2021) menyarankan agar pembuat kebijakan mewaspadai harapan yang terlalu optimis dalam menilai manfaat tambahan proyek energi terbarukan dalam konteks transfer teknologi. Untuk meningkatkan manfaat transfer teknologi, pengadopsi teknologi perlu menerapkan strategi proaktif dan implementasi kebijakan yang dirancang dengan hati-hati (Lema, et al., 2021).

Secara umum mengenai transfer teknologi energi surya dalam konteks industri energi surya, kita dapat belajar dari de la Tour et al (2011), Fu and Zhang (2011), Pueyo et al (2011), dan Gottwald et al (2012).). Produsen PV China telah berhasil memperoleh transfer teknologi melalui dua saluran utama: membeli peralatan manufaktur di pasar internasional yang kompetitif dan merekrut eksekutif terampil dari diaspora China yang merintis perusahaan PV (de la Tour, et al., 2011). Akuisisi, adaptasi dan pengembangan teknologi energi surya yang maju dan berkelanjutan memerlukan sistem inovasi nasional yang terencana dengan baik (Fu dan Zhang, 2011). Faktor-faktor yang diperlukan untuk transfer teknologi yang berhasil meliputi (Pueyo, et al., 2011): permintaan internal yang minimum dan akses ke pasar regional untuk menarik penyedia pengetahuan asing; fokus pada jenis teknologi di mana negara atau perusahaan penerima memiliki keunggulan kompetitif; dan proses pembelajaran aktif oleh perusahaan penerima. Transfer teknologi juga membutuhkan peran perguruan tinggi dalam pengenalan program studi energi terbarukan, penerapan strategi penelitian jangka panjang dan program magang serta penelitian terapan yang dilakukan bersama antara perguruan tinggi, pemerintah, dan perusahaan swasta (Gottwald, et al., 2012).

Dampak Negatif Potensial terhadap Pengembangan Wilayah Berkelanjutan

a. Potensi eksternalitas negatif

Selain memberikan dampak potensial yang positif, pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata juga bisa menimbulkan masalah. PLTS Terapung Cirata dapat menyebabkan kerusakan lingkungan perairan waduk. Pembangkit listrik tenaga surya terapung yang terdiri dari modul PV, inverter dan sistem lainnya dapat mengeluarkan bahan berbahaya yang merusak lingkungan (Aman et al., 2015). Selama konstruksi dan operasi, terdapat risiko pencemaran air oleh minyak, pelumas, bahan bakar, cat, saat peralatan mekanis untuk pemeliharaan dipindahkan, dan dengan sisa bahan akibat korosi (Gorjian et al. 2020). Kebocoran bahan pencemar ke dalam air (seperti minyak, bahan bakar, dll) dari mesin (seperti perahu) dapat merusak lingkungan danau (Gorjian et al., 2020). Penempatan jangkar di dasar perairan tentunya menyebabkan pencampuran air dan kekeruhan yang dapat mengakibatkan hilangnya habitat fauna perairan (Pimentel Da Silva dan Branco, 2018). PLTS terapung dapat berefek pada munculnya bahan kimia sangat beracun bagi lingkungan dan dapat menimbulkan banyak dampak negatif pada flora dan fauna dalam jangka waktu yang lama (Lovich dan Ennen, 2011). Potensi pencemaran air melalui zat-zat tersebut dapat mengakibatkan kematian ikan dan spesies air lainnya atau perubahan kualitas air akibat perkembangan alga yang pesat dan hilangnya oksigen di dalam air (Gorjian et al. 2020; Haas et al., 2020). Pada tahap dekomisioning, jangkar yang membebani sistem apung dibongkar, yang dapat menyebabkan kekeruhan di perairan (Pimentel Da Silva dan Branco, 2018).

PLTS terapung di Waduk Cirata juga dapat menimbulkan kebisingan dan polusi udara. Selama konstruksi, dapat terjadi peningkatan kebisingan dan polusi udara yang disebabkan oleh lalu lintas kendaraan dan mesin (Pimentel Da Silva dan Branco, 2018; Sahu et al., 2016). Selain itu, pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata dapat merusak bentang alam kawasan dan flora fauna. Proyek pembangkit listrik tenaga surya skala besar

dapat mengakibatkan kerusakan lanskap kawasan, yang dapat meningkatkan masalah penerimaan sosial, karena lanskap dianggap sebagai salah satu elemen terpenting dari atraksi rekreasi dan pariwisata (Vuichard et al. 2021; Devine- Wright et al. 2019). Selain itu, pergerakan kendaraan untuk pembangunan pabrik dapat membahayakan fauna di lingkungan sekitarnya (Gorjian et al. 2020) dan dapat mengubah geomorfologi lahan (Sahu et al. 2016). Dampak lingkungan serius lainnya adalah pembuangan limbah padat berbahaya. Pengembangan infrastruktur energi surya memiliki sisi gelap yang dapat menimbulkan limbah berbahaya (Hansen et al., 2021). Limbah padat dihasilkan dari pembuangan baterai (jika ada), panel surya, dan peralatan rusak lainnya (Aman et al., 2015; Pimentel Da Silva dan Branco, 2018).

b. Konflik sosial dan pemanfaatan ruang

Waduk Cirata yang menjadi lokasi pembangunan PLTS terapung merupakan ekosistem yang berguna untuk fungsi lain, termasuk untuk mata pencaharian masyarakat setempat. Pemerintah Provinsi Jawa Barat, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) mengesahkan 12.000 keramba jaring apung di Waduk Cirata (Pemerintah Provinsi Jawa Barat, 2021; Iqbal dan Fajar, 2020). Fakta sebenarnya di lapangan terdapat 93.000 petak keramba yang menjadi mata pencaharian masyarakat di sekitar Waduk Cirata (Pemerintah Provinsi Jawa Barat, 2021; Iqbal dan Fajar, 2020). Pembangunan PLTS Terapung Cirata dikhawatirkan pihak terkait akan menimbulkan konflik dengan mata pencaharian masyarakat sekitar karena prosesnya kurang sosialisasi (Pikiran Rakyat, 2021).

Pemanfaatan lahan untuk pembangkit listrik tenaga surya skala besar berpotensi menimbulkan konflik dengan penggunaan lahan lainnya, yang kemudian dapat menimbulkan serangkaian masalah lingkungan, sosial, dan ekonomi yang unik (Jones et al., 2015). Kelompok lingkungan dan konservasi prihatin dengan dampak fasilitas tenaga surya terhadap ekosistem (Carlisle et al. 2015). Pembangunan PLTS Terapung Cirata juga berpotensi memunculkan isu sindrom Not-In-My-Backyard (NIMBY). Dalam literatur akademik dan laporan proyek pembangunan, penolakan masyarakat lokal terhadap proyek infrastruktur dikenal dengan sindrom NIMBY (Cousse, 2021). Roddis et al (2020) menyatakan bahwa terlepas dari keuntungan memenuhi permintaan energi yang meningkat dan mengurangi pasokan listrik, beberapa pengembangan pembangkit listrik tenaga surya skala besar telah memicu reaksi negatif publik yang kuat. Pembangkit listrik tenaga surya skala besar dapat mengganggu ikatan emosional orang dengan tempat (Devine-Wright 2019). Selain itu, permasalahan lain yang dapat muncul terkait dengan persoalan ketidakadilan distribusional dan ketidakadilan prosedural (Vuichard et al., 2021). Selain itu, salah satu tantangan utama pengembangan energi terbarukan adalah hilangnya pekerjaan di industri energi konvensional (Jenniches and Worrel, 2019). Pemutusan hubungan kerja dapat menjadi ancaman serius dalam industri yang sangat terspesialisasi dalam energi fosil seperti industri tenaga batu bara, di mana energi terbarukan menjadi tantangan bagi model bisnis tradisional (Jenniches and Worrel, 2019).

Kesimpulan

Pengembangan pembangkit listrik tenaga surya terapung merupakan salah satu instrumen kebijakan yang dipilih oleh Pemerintah Indonesia untuk pembangunan lokal dan regional yang berkelanjutan. Literatur sebelumnya yang mengkaji proyek pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata banyak difokuskan pada aspek teknis dan tekno-ekonomi. Pengembangan PLTS terapung di Waduk Cirata terintegrasi dengan sistem infrastruktur energi terbarukan PLTA Cirata dan PLTS di daratan di kawasan Cirata. Pembangunan PLTS terapung di Waduk Cirata telah berhasil menerapkan skema pembiayaan kerjasama antara Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan badan usaha milik swasta dari negara lain.

Kemajuan perencanaan dan pembiayaan telah mencapai *financial close* dan direncanakan pembangunannya pada November 2022. Pengembangan PLTS terapung di Waduk Cirata berpotensi memberikan manfaat bagi pembangunan wilayah yang berkelanjutan antara lain: produksi energi, peningkatan perekonomian lokal dan regional, menghindari emisi GRK dan polusi udara serta mengurangi penguapan air. Namun demikian, infrastruktur ini juga dapat memberikan dampak negatif potensial mencemari perairan, merusak ekosistem alam, merusak lanskap alam, dan menimbulkan konflik dengan masyarakat terkait dengan keadilan distributif dan keadilan prosedural.

Oleh karena itu, artikel ini mengusulkan beberapa penelitian yang sebaiknya perlu dilakukan dalam konteks dan studi kasus proyek PLTS terapung Cirata agar bisa dicarikan solusi memaksimalkan manfaat, memitigasi risiko dan meminimalkan dampak negatifnya:

- a. Analisis biaya-manfaat sosial. Analisis biaya-manfaat sosial perlu dilakukan baik *ex ante* maupun *ex post*. Kajian ini diperlukan untuk mengevaluasi pembangunan infrastruktur PLTS terapung di Waduk Cirata dari perspektif ekonomi kesejahteraan (*welfare economic*). Studi ini perlu mempertimbangkan tidak hanya biaya dan manfaat finansial dari proyek tetapi juga biaya dan manfaat sosialnya.
- b. Penilaian dampak ekonomi lokal dan regional. Kajian ini perlu dilakukan baik dalam skala lokal dengan pendekatan survei mikro maupun dalam skala regional dan nasional dengan pendekatan agregat menggunakan pendekatan *Input-Output*, *Social Accounting Matrix* dan *Computable General Equilibrium*.
- c. Penilaian dampak lingkungan selama konstruksi, operasi dan dekomisioning. Pengembangan energi surya telah dikritik karena konsekuensi negatif terkait limbah padat dan limbah berbahaya dan beracun. Oleh karena itu, studi kasus PLTS terapung di Waduk Cirata dapat difokuskan pada pemantauan dampak lingkungan selama masa konstruksi, operasi dan pemeliharaan, serta dekomisioning. Studi ini juga dapat berfokus pada pengembangan konsep pengurangan dampak negatif dan pengelolaan limbah padat dan elektronik.
- d. Analisis penerimaan masyarakat dan manajemen konflik. Kajian ini dapat berfokus pada isu keadilan distribusional dan keadilan prosedural. Kajian ini diperlukan mengingat proyek infrastruktur ini melibatkan investasi yang besar dan berjangka panjang. Selain itu, pembangunan untuk tujuan keberlanjutan juga harus memperhatikan hak-hak masyarakat lokal.
- e. Penilaian risiko investasi. Pembiayaan PLTS terapung di Waduk Cirata membutuhkan investasi dan keterlibatan berbagai perusahaan swasta dan lembaga pembiayaan nasional dan internasional. Oleh karena itu, penelitian dapat fokus pada manajemen risiko investasi.
- f. Kajian transfer teknologi. Pembangunan infrastruktur ini diharapkan dapat menghasilkan transfer teknologi, namun bagaimana mekanisme transfer teknologi terjadi dan bagaimana hasil transfer teknologi untuk peningkatan kemampuan inovasi Indonesia belum dipahami, sehingga diperlukan studi lebih lanjut mengenai masalah ini.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Beasiswa BPPDN Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Aman, M.M., Solangi, K.H., Hossain, M.S., Badarudin, A., Jasmon, G.B., Mokhlis, H., Bakar, A.H.A., & Kazi, S. (2015). A review of safety, health and environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 41, 1190–1204. doi:10.1016/j.rser.2014.08.086

- Bishop, L., & Kuula-Luumi, A. (2017). Revisiting qualitative data reuse: A decade on. *Sage Open*, 7(1), 2158244016685136.
- Cansino, J.M., Cardenete, M.A., González-Limón, J.M., & Román, R. (2014). The economic influence of photovoltaic technology on electricity generation: A CGE (computable general equilibrium) approach for the Andalusian case. *Energy*, 73, 70–79. doi:10.1016/j.energy.2014.05.076
- Carlisle, J.E., Kane, S.L., Solan, D., Bowman, M., & Joe, J.C. (2015). Public attitudes regarding largescale solar energy development in the US. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 835–47.
- Cousse, J. (2021). Still in love with solar energy? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 145, 111107.
- de la Tour, A., Glachant, M., & Ménière, Y. (2011). Innovation and international technology transfer: The case of the Chinese photovoltaic industry. *Energy Policy*, 39(2), 761–770. doi:10.1016/j.enpol.2010.10.050
- Deputy Minister of State-Owned Enterprises (2021). “Materi Sambutan dari Wakil Menteri Badan Usaha Milik Negara”. Deklarasi Financial Close Proyek PLTS Terapung Cirata 145 MWac 3 Agustus 2021. Deklarasi Financial Close Proyek PLTS Terapung Cirata 145 MWac. 3 Agustus 2021. Jakarta. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=Ij9WjMraSQg>. Diakses 2 Juni 2022.
- Devine-Wright, P., Smith, J., & Batel, S. (2019) “Positive parochialism”, local belonging and ecological concerns: revisiting Common Ground’s Parish Maps project. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 44(2):407–21. doi:10.1111/tran.12282
- Dinas ESDM Jawa Barat (2018). Buku Profil dan Data Statistik ESDM Tahun 2018. Dinas ESDM Jawa Barat (Jabar).
- DLH Jawa Barat (2018) Kebijakan Pengendalian Perubahan Iklim Jawa Barat. Dinas Lingkungan Hidup Jawa Barat.
- DPR (2020). Laporan Kunjungan Spesifik Komisi VII DPR RI KE PLTA-PLTS Terapung Cirata PT PLN (PERSERO) Di Purwakarta Provinsi Jawa Barat. DPR
- EBTKE ESDM. (2021). Capai Financial Close, PLTS Terapung Cirata Mulai Tahap Konstruksi. Online: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/08/04/2927/capai.financial.close.plts.terapung.cirata.mulai.tahap.konstruksi>. Diakses: 4 Agustus 2021.
- Fu, X & Zhang, J. (2011). Technology transfer, indigenous innovation and leapfrogging in green technology: the solar-PV industry in China and India. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 9(4), 329–347. doi:10.1080/14765284.2011.618590
- Gorjian, S., Sharon, H., Ebadi, H., Kant, K., Scavo F.B., & Tina G.M. (2020) Recent technical advancements, economics and environmental impacts of floating photovoltaic solar energy conversion systems, *Journal of Cleaner Production*, 278, 124285. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124285
- Gregersen, C. (2020). Local learning and capability building through technology transfer: Experiences from the Lake Turkana Wind Power project in Kenya. *Innovation and Development*. doi:10.1080/2157930x.2020.1858612
- Haas, J., Khalighi, J., de la Fuente, A., Gerbersdorf, S.U., Nowak, W., & Chen, P.J. (2020). Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion Management*, 206, 112414.
- Hansen, U. E., Nygaard, I. & Dal Maso, M. (2021) The dark side of the sun: solar e-waste and environmental upgrading in the off-grid solar PV value chain, *Industry and Innovation*, 28: 58–78. doi:10.1080/13662716.2020.1753019
- Iqbal dan Fajar (2020) Begini Nasib Keramba Jaring Apung Waduk Cirata Ditengah Dilema Pencemaran. Online: <https://www.mongabay.co.id/2020/01/06/begini-nasib-keramba-jaring-apung-waduk-cirata-ditengah-dilema-pencemaran/>. Diakses: 6 Januari 2021
- Jenniches, S., & Worrell, E. (2019). Regional economic and environmental impacts of renewable energy developments: Solar PV in the Aachen Region. *Energy for Sustainable Development*, 48(), 11–24. doi:10.1016/j.esd.2018.10.004
- Jones, P., Comfort, D., & Hillier, D., (2015). Spotlight on solar farms. *Journal of Public Affairs*, 15 (1), 14–21.
- Kasim, N. K., Legino, S & Hidayat, S (2018) Analisis Keekonomian Floating PV Waduk Cirata Dengan Pemandang Ground Mounted Pv Kapasitas 1 MW. Tesis di, Sekolah Tinggi Teknik PLN.

- Kementerian ESDM, (2018) RUPTL. Kementerian ESDM.
- KLHK (2021) Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050. Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK).
- Lema, R., Bhamidipati, P.L., Gregersen, C., Hansen, U.E., & Kirchherr, J. (2021). China's investments in renewable energy in Africa: Creating co-benefits or just cashing-in? *World Development*. doi:10.1016/j.worlddev.2020.105365
- Llera, E., Scarpellini, S., Aranda, A., & Zabalza, I. (2013). Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 262–271. doi:10.1016/j.rser.2012.12.053
- Lovich, J.E., & Ennen, J.R., (2011). Wildlife conservation and solar energy development in the Desert Southwest, United States. *Bioscience*, 61, 982–992
- Makhija, S.P., Dubey, S.P., Bansal, R.C., & Jena, P.K. (2021). Techno-Environ-Economical analysis of floating PV/On-Ground PV/Grid extension systems for electrification of a remote area in India. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 6 (6), 1-10. doi:10.1007/s40866-021-00104-z
- Marupa, I., Moe, I. R., Mardjono, A., & Malindo, D. (2022). PLTS Terapung: Review pembangunan dan simulasi numerik untuk rekomendasi penempatan panel surya di Waduk Cirata. *Jurnal Teknik Pengairan*, 13(1), 48–62.
- Peanpitak, W. & Singh, J.G (2021) Potential and financial analysis of the floating PV in Hydropower Dams of Thailand. In Sri Niwas Singh; Prabhakar Tiwari; Sumit Tiwari (Editors), *Fundamentals and Innovations in Solar Energy. Energy Systems in Electrical Engineering*.
- Pemerintah Provinsi Jawa Barat (2021) Jumlah Usaha Jaring Apung di Waduk Cirata. Pemerintah Provinsi Jawa Barat.
- Pikiran Rakyat (2021) Proyek PLTS Terapung Senilai Rp1,8 Triliun Dibangun di Waduk Cirata, Ironis Warga Cipeundeuy Tidak Tahu. Online: <https://galajabar.pikiranrakyat.com/jabar/pr-1082019023/proyek-plts-terapung-senilai-rp18-triliun-dibangun-di-waduk-cirata-ironis-warga-cipeundeuy-tidak-tahu>. [Diakses 1 September 2021]
- Pimentel Da Silva, G.D., & Branco, D.A.C. (2018). Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. *Impact Assessment and Project Appraisal*. 36, 390–400.
- PJB, 2020. Profil PLTS Cirata. PJB
- PLN (2021) "Profile dan Progress PLTS Terapung Cirata" Deklarasi Financial Close Proyek PLTS Terapung Cirata 145 MWac 3 Agsutus 2021. PLN. (Online: <https://www.youtube.com/watch?v=Ij9WjMraSQg>) Diakses 2 Juni 2022.
- Pueyo, A., García, R., Mendiluce, M., & Darío Morales (2011). The role of technology transfer for the development of a local wind component industry in Chile. *Energy Policy*, 39(7), 4274–4283. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.045
- Roddis, P., Roelich, K., Tran, K., Carver, S., Dallimer, M., Ziv, G. (2020). What shapes community acceptance of large-scale solar farms? A case study of the UK's first 'nationally significant' solar farm. *Solar Energy*, 209, 235–244. doi:10.1016/j.solener.2020.08.065
- Rosa-Clot, M., & Tina, G.M. (2020). *Floating PV Plant*. Academic Press.
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K., (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 66, 815–824. doi:10.1016/j.rser.2016.08.051
- Semeskandeh, S., Hojjat, M., & Abardeh, M.H. (2022). Techno-economic-environmental comparison of floating photovoltaic plant with conventional solar photovoltaic plant in northern Iran. *Clean Energy*, 6 (3), 446, <https://doi.org/10.1093/ce/zkac030>
- Sibuea., R.T., Pratna, R., Hapsari, A., & Kristi, Y.W. (2022). Satellite remote sensing using earth observing system in environmental monitoring for hydropower & floating photovoltaic reservoir (Case Study: Algae Blooming on Cirata Reservoir, West Java-Indonesia)
- Song, J., & 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 (2), 102. doi:10.3390/en9020102
- Sukmawan, T., Nursyahbani, H., Wahyudi, H.D., Gunawan, T., & Wijaya, A.A. (2021). Technical study of

developing floating photovoltaic 145 MWac power plant project In Cirata Reservoir. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1096 012120.

Vuichard P; Stauch, A; Wustenhagen R (2021) Keep it local and low-key: Social acceptance of alpine solar power projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 138 (2021) 110516

Wildan, BIEI. (2021). Analisa teknik-ekonomi floating photovoltaic 145 mw cirata untuk mendukung program pemerintahan dalam meningkatkan energi baru dan terbarukan. Tesis di Universitas Andalas.