



# POTENSI TEKNIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERAPUNG DI JAWA TENGAH

Supported by:





# Pendahuluan

Krisis iklim yang dominan disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil telah mendorong negara-negara di dunia untuk bersepakat menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) global; yang dituangkan dalam Perjanjian Paris (*Paris Agreement*). Perjanjian ini bertujuan menjaga kenaikan temperatur global di bawah 2°C, dan berupaya mencapai 1,5°C. Target ini bisa dicapai dengan mengurangi 70% emisi karbon yang bersumber dari produksi energi pada 2050, dibandingkan dengan angka emisi di 2015. Strategi pengurangan emisi karbon ini salah satunya dengan penerapan dan pemanfaatan energi terbarukan secara besar-besaran yang dikombinasikan dengan upaya efisiensi energi.

Indonesia telah meratifikasi Perjanjian Paris melalui Undang Undang No. 16 Tahun 2016 dan berkomitmen menurunkan emisi GRK nasional sebesar 29% di tahun 2030 dengan usaha sendiri serta 41% dengan bantuan internasional. Salah satu cara yang dapat ditempuh



untuk memenuhi komitmen tersebut adalah meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

Indonesia memiliki potensi pemanfaatan energi surya yang cukup besar. Energi surya tersedia sepanjang tahun dan tersebar merata di seluruh wilayah Indonesia, baik di darat maupun di perairan. Untuk kelistrikan, energi surya dikonversi menjadi listrik menggunakan perangkat sel surya atau sel fotovoltaik (*photovoltaic*). Sel surya sudah berkembang secara komersial sejak 1970-an. Dalam 2 dekade terakhir, pemanfaatannya semakin meluas untuk pembangkitan listrik secara global. IEA menyebut energi surya sebagai *king of electricity* ("raja listrik") karena mencatatkan pertumbuhan tahunan tertinggi dibanding energi terbarukan lain<sup>1</sup>. Pertumbuhan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor,

di antaranya harga sel surya yang semakin turun - saat ini 80% lebih murah dibanding harga 2009, serta peningkatan performa dan efisiensi.

Pemanfaatan energi surya dalam bentuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) secara umum dapat dibagi 3: pemasangan di atas atap (PLTS atap/*rooftop solar*), di atas tanah (*ground-mounted*), dan di perairan (PLTS terapung/*floating photovoltaic*).

PLTS terapung dibangun dengan menempatkan modul-modul surya di atas badan air, seperti waduk, sungai, danau, atau bahkan laut. Di Asia, PLTS terapung mulai mendapatkan perhatian serius karena banyaknya badan air yang tersedia dan mampu menjawab permasalahan kelangkaan lahan serta persaingan penggunaan lahan dengan kegiatan lain,

<sup>1</sup> IEA, 2020, <https://www.iea.org/reports/solar-pv>

seperti pertanian<sup>2</sup>. Selain manfaat konservasi lahan, manfaat tambahan lainnya juga menjadi pendorong utama meningkatnya serapan instalasi PLTS terapung. Hal ini termasuk efek pendinginan air pada panel surya yang meningkatkan keekonomian proyek, serta manfaat lingkungan seperti berkurangnya penguapan air waduk dan pertumbuhan alga<sup>3,4</sup>. World Bank Group et al.<sup>2</sup> mencatat bahwa kapasitas terpasang PLTS terapung global mencapai 1,3 gigawatt-peak (GWp) di akhir tahun 2018, di mana 73% dari proyek yang dibangun di Republik Rakyat Tiongkok (RRT) dan 16% dibangun di Jepang. Hingga Juni 2020, kapasitas terpasang kumulatif global PLTS terapung tercatat mencapai 1,8 GWp<sup>5</sup>.

Melihat potensi PLTS terapung di perairan Indonesia yang cukup luas, Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Menteri PUPR) menerbitkan Peraturan Menteri PUPR No.6/2020 tentang revisi atas Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan ; yang mengatur pengembangan PLTS terapung pada 5% luas permukaan air waduk pada muka air

normal. Selain itu, pada Januari 2020, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengumumkan penandatanganan perjanjian jual beli listrik dari proyek PLTS terapung skala besar pertama di Indonesia, yang diklaim sebagai salah satu proyek PLTS terapung terbesar di Asia Tenggara<sup>6</sup>.

Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi yang progresif dalam mengembangkan energi terbarukan di wilayahnya<sup>8</sup>. Provinsi Jawa Tengah akan meningkatkan bauran energi terbarukan hingga 21,82% pada tahun 2025, terutama dari energi surya dan panas bumi, sebagaimana tercantum dalam Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 12/2018 tentang Rencana Umum Energi Daerah (RUED). Dengan potensi surya rata-rata sebesar 4,05 kWh/kWp per hari (di atas rata-rata nasional 3,75 kWh/kWp per hari), Jawa Tengah berkomitmen untuk menjadi provinsi energi surya pertama di Indonesia<sup>9,10</sup>. Pemetaan potensi teknis pemanfaatan energi surya di Jawa Tengah menjadi salah satu langkah awal pengembangan energi surya yang lebih agresif di provinsi ini.

<sup>2</sup> World Bank Group et al., 2019a, <http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/32804>

<sup>3</sup> Spencer, 2019, <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04735>

<sup>4</sup> World Bank Group et al., 2019b, <https://doi.org/10.1596/32804>

<sup>5</sup> Paton, 2020, <http://www.seris.nus.edu.sg/events-and-news/event-gallery.html>

<sup>6</sup> Kementerian PUPR, 2020, <https://jdih.pu.go.id/berita/detail/17>

<sup>7</sup> Kementerian ESDM, 2020, <http://ebtke.esdm.go.id/post/2020/01/23/2463/plts.terapung.terbesar.di.asia.tenggara.siap.dikembangkan>

<sup>8</sup> IESR, 2019a, [http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/07/IESR\\_Infographic\\_Status-Energi-Terbarukan-Indonesia.pdf](http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/07/IESR_Infographic_Status-Energi-Terbarukan-Indonesia.pdf)

<sup>9</sup> IESR, 2019b, <http://iesr.or.id/pustaka/residential-rooftop-solar-potential-in-34-provinces-in-indonesia/>

<sup>10</sup> IESR, 2019c, <http://iesr.or.id/iesr-supports-central-java-as-the-very-first-solar-province-in-indonesia/>



# Metodologi

Data-data umum waduk yang terdiri dari nama, lokasi (koordinat), serta fungsi waduk dikumpulkan dari Dinas Pekerjaan Umum, Sumber Daya Air, dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Tengah (Pusdataru Jateng)<sup>11</sup> dan Water Resources Data Center (WRDC), Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR<sup>12</sup>. Sebagai catatan, waduk yang dimaksud dalam Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2015<sup>13</sup> adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Berdasarkan hal tersebut, perhitungan potensi teknis dalam studi

ini terbatas hanya pada waduk buatan dari konstruksi bendungan saja, tidak memperhitungkan waduk alami. Peta sebaran waduk di seluruh provinsi Jawa Tengah terdapat pada **Lampiran 1** (catatan: peta hanya memperlihatkan waduk yang dibangun sebelum 2015).

Setelah semua waduk teridentifikasi, langkah berikutnya adalah mengukur luas permukaan genangan waduk. Data luas permukaan genangan waduk dari Pangkalan Data Bendungan dan WRDC divalidasi dengan pengukuran luas berdasarkan citra satelit Google Earth untuk memperoleh data yang

<sup>11</sup> Pusdataru Provinsi Jawa Tengah, [http://pusdataru.jatengprov.go.id/portal\\_data/waduk\\_jateng](http://pusdataru.jatengprov.go.id/portal_data/waduk_jateng)

<sup>12</sup> Kementerian PUPR, <http://222.124.202.167:8282/pdsda/>

<sup>13</sup> Kementerian PUPR, 2015, <https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/249/1>



aktual. Apabila terdapat ketidakcocokan nilai luas waduk antara hasil pengukuran dengan pangkalan data nasional, maka nilai pengukuran berdasarkan citra satelit yang digunakan untuk perhitungan. Namun, tidak semua hasil pengukuran waduk digunakan, karena beberapa waduk yang berbentuk dendritik tidak menghasilkan data luas yang akurat. Bentuk dendritik disebabkan oleh adanya beberapa aliran air sungai yang masuk ke dalam waduk sehingga bercabang-cabang seperti pohon.

Potensi teknis PLTS terapung dihitung dengan menggunakan bantuan perangkat lunak HelioScope<sup>14</sup>. HelioScope adalah perangkat lunak berbasis website yang digunakan untuk merancang PLTS dan melakukan simulasi untuk melihat kinerja PLTS sepanjang tahun. Untuk merancang PLTS terapung, luas waduk yang digunakan untuk PLTS ditentukan terlebih dahulu dengan mengambil 5% dari keseluruhan luas permukaan suatu waduk yang diperoleh dari tahap

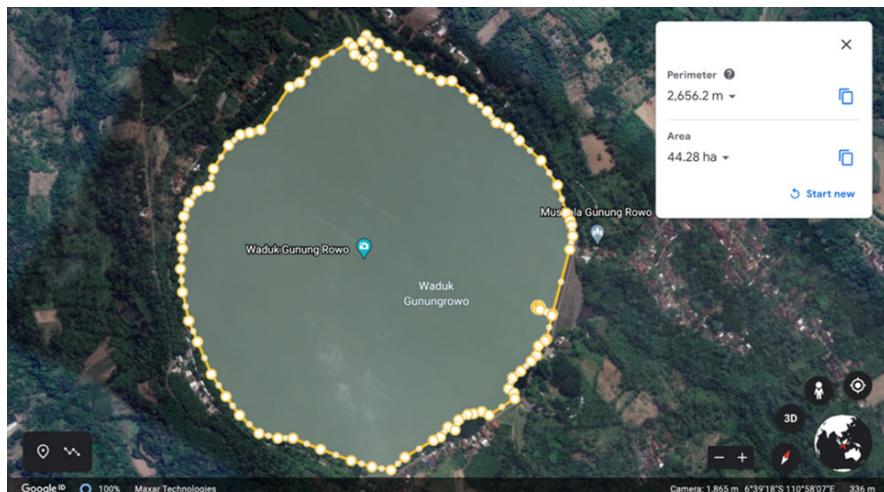
sebelumnya. Setelah nilai potensi teknis dari masing-masing waduk diperoleh, selanjutnya dilakukan simulasi untuk melihat kinerja PLTS dalam selama satu tahun dan besarnya potensi listrik yang dapat dihasilkan.

Secara umum, potensi teknis PLTS terapung dapat diperkirakan dengan sederhana menggunakan aturan praktis (*rule of thumb*), di mana satu hektar badan air memiliki potensi kapasitas PLTS terapung sebesar satu megawatt-peak (MWp)<sup>4,15</sup>. Namun dalam desain sistem desain PLTS terapung menggunakan HelioScope, nilai ini bergantung pada jenis modul surya yang digunakan dan desain sistem itu sendiri. Dalam studi ini, dengan menggunakan modul surya polikristalin 350 Wp, didapatkan rasio rata-rata yang sedikit berbeda, yaitu 1:1,15 (satu hektar menghasilkan potensi sebesar 1,15 MWp, tergantung dari sistem desain masing-masing). Parameter teknis yang digunakan pada HelioScope dapat dilihat pada **Lampiran 2** di akhir laporan ini.

<sup>14</sup> Folsom Labs, <https://www.helioscope.com/>

<sup>15</sup> Ciel & Terre, <https://www.ciel-et-terre.net/our-references/>

**Gambar 1** memperlihatkan contoh pengukuran luas permukaan air waduk menggunakan citra satelit Google Earth. Seperti yang ditunjukkan di gambar, Waduk Gunung Rowo memiliki luas permukaan air waduk sebesar 44,28 hektar. Dalam kasus ini, tidak ditemukan data luas permukaan waduk pada muka air normal pada kedua sumber data di atas, oleh karena itu pengukuran dengan citra satelit ini digunakan sebagai masukan data untuk perhitungan potensi PLTS terapung menggunakan HelioScope.



**Gambar 1** Contoh pengukuran luas permukaan air waduk dengan Google Earth

Ketika melakukan pengukuran luas permukaan waduk, ada beberapa hal penting yang perlu diperhatikan sebelum mendesain sistem PLTS terapung. Pertama, perlu dipastikan bahwa gambar citra satelit tersebut adalah gambar terbaru, sehingga bisa merepresentasikan keadaan aktual waduk. Kedua, diketahui bahwa beberapa waduk mengalami kekeringan, sehingga tidak dapat dilakukan pengukuran remote secara akurat. Pada kasus ini, data dari

WRDC digunakan untuk menghitung luas permukaan waduk. Kedua hal ini penting karena pengukuran luas permukaan yang tidak tepat dapat menyebabkan perhitungan potensi teknis menghasilkan angka yang kurang (*underestimation*) ataupun lebih (*overestimation*). Untuk itu, perlu dilakukan klarifikasi dan validasi data dengan dinas terkait untuk mendapat informasi waduk yang lebih aktual dan akurat.



Setelah diperoleh nilai luas permukaan air waduk, 5% luasan tersebut akan digunakan sebagai masukan untuk mendesain sistem PLTS terapung di perangkat lunak HelioScope. Sebagai contoh, jika luas permukaan waduk adalah 100 hektar, maka sistem PLTS terapung mencakup luasan lahan sebesar 5 hektar (5% dari luas total) atau 50.000 m<sup>2</sup>. Proses desain sistem PLTS terapung pada HelioScope disesuaikan dengan proyek nyata dari referensi proyek di negara-negara lain<sup>3,4,15</sup>. Daftar lengkap parameter teknis dan contoh gambar desain sistem PLTS terapung dapat dilihat di **Lampiran 2** dan **3** pada akhir laporan ini.

## Hasil dan Diskusi

Dari kedua sumber data nasional (Pusdataru Jateng dan WRDC), diketahui terdapat 43 waduk di seluruh Jawa Tengah: sebanyak 39 waduk dibangun di tahun 1990-an dan terdapat empat waduk sisanya yang relatif baru (dibangun di tahun 2000-an). Dari 43 waduk tersebut, terdapat satu waduk, yaitu Waduk Kedungulung yang dikeluarkan dari daftar karena mengalami kekeringan sehingga tidak memiliki data yang mencukupi untuk dilakukan perhitungan.

Setelah semua waduk teridentifikasi, selanjutnya dibuat kategorisasi waduk sebelum dilaku-

kan perhitungan potensi teknis. Waduk dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan luas permukaan waduk pada muka air normal: waduk besar (luas permukaan waduk >100 hektar), waduk sedang (10–100 hektar), serta waduk kecil (<10 hektar). Hasil perhitungan potensi PLTS terapung disajikan pada **Tabel 1** hingga **3**.

Secara keseluruhan, terdapat potensi teknis PLTS terapung sebesar **727,25 MWp** dari 42 waduk buatan di Jawa Tengah. Sebanyak 92,3% (atau sebesar 671,85 MWp) disumbangkan oleh potensi teknis waduk besar (11 waduk), 7,36% (53,25 MWp) dari potensi teknis waduk sedang (24 waduk), dan sisanya (2,14 MWp) disumbangkan oleh potensi teknis waduk kecil (7 waduk).

Dalam kategori waduk besar, Waduk Kedung Ombo, Gajahmungkur, Wadaslintang, dan Mrica memiliki potensi terbesar, yang besarnya masing-masing, 268, 148, 77, dan 72 MWp. Di kategori waduk sedang, waduk Jatibarang, Logung, dan Malahayu menduduki potensi tiga terbesar dengan kapasitas masing-masing sebesar lebih kurang 5 MWp. Untuk kategori wa-

duk kecil, terdapat tujuh waduk yang masuk di kategori ini dengan kapasitas kurang dari 0,5 MWp. Jika seluruh waduk pada waduk tersebut dipasangi PLTS terapung dengan potensi kapasitas tersebut, potensi pembangkitan listrik yang dihasilkan mencapai 974,66 GWh per tahun, atau sekitar 3,47% dari produksi listrik netto di Jawa Tengah dan Yogyakarta di tahun 2018<sup>16</sup>.

**Tabel 1** Potensi Teknis PLTS Terapung di Waduk Besar (>100 ha) di Jawa Tengah

No.	Waduk	Tahun dibangun	Luas permukaan waduk		Potensi PLTS terapung (MWp)	Potensi pembangkitan (GWh/th)
			Total (ha)	5% luas (ha)		
1	<b>Kedung Ombo</b>	1985–1989	4.600	230,00	267,95	367,39
2	<b>Gajahmungkur*</b>	1976–1982	2.539	126,90	147,88	201,67
3	<b>Wadaslintang</b>	1983–1987	1.320	66,00	76,89	90,26
4	<b>Mrica</b>	1984–1989	1.250	62,50	72,80	87,36
5	Cacaban	1951–1959	790	40,00	46,02	57,48
6	<b>Sempor</b>	1974–1978	275	13,75	16,10	19,38
7	Cengklik	1923–1928	253	12,65	14,80	23,94
8	Jombor*	1920	164	8,21	9,61	14,61
9	Penjalin	1930–1934	120	6,00	6,98	9,92
10	Jatibarang	2009–2014	111	5,55	6,40	10,00
11	Gembong	1930–1933	110	5,50	6,41	9,48
			<b>Total</b>	<b>671,85 MWp</b>	<b>891,5 GWh/th</b>	

\* Pengukuran luas permukaan menggunakan citra satelit Google Earth



**Tabel 2** Potensi Teknis PLTS Terapung di Waduk Sedang (10–100 ha) di Jawa Tengah

No.	Waduk	Tahun dibangun	Luas permukaan waduk		Potensi PLTS terapung (MWp)	Potensi pembangkitan (GWh/th)
			Total (ha)	5% luas (ha)		
1	<b>Logung</b>	2014–2018	88,50	4,43	5,15	7,54
2	Malahayu	1935–1940	70,00	3,50	4,08	6,13
3	Klego	1943	68,60	3,43	3,97	6,49
4	Garung	1978–1983	67,00	3,35	3,90	5,14
5	Lalung	1940	63,96	3,20	3,71	5,76
6	Lodan Wetan*	1994	60,54	3,03	3,40	5,20
7	Mulur*	1918–1926	59,40	2,97	3,40	5,23
8	Greneng	1919	51,00	2,55	2,91	4,32
9	Delingan	1920–1923	47,00	2,35	2,73	4,14
10	Ketro	1975–1984	47,00	2,35	2,73	4,35
11	Gunung Rowo*	1918–1925	44,28	2,21	2,56	3,77
12	Krisak	1942–1943	44,00	2,20	2,52	3,74
13	Banyukuwung*	1996	34,94	1,75	2,08	3,07
14	Ngancar	1944–1946	34,00	1,70	1,90	2,71
15	Grawan	2004	17,92	0,90	1,05	1,54
16	Nglangon	1911–1914	17,00	0,85	0,97	1,50
17	Parangjoho*	1973–1980	16,72	0,84	0,96	1,41
18	Panohan	2005–2009	16,20	0,81	0,95	1,42
19	Plumbon	1918–1928	13,75	0,69	0,80	1,17
20	Botok	1942	13,44	0,67	0,78	1,20
21	Kembangan	1939–1940	13,40	0,67	0,77	1,18
22	Sanggeh	1909–1911	13,00	0,65	0,75	1,16
23	Nawangan	1974–1976	10,40	0,52	0,60	0,87
24	Gebyar	1944–1945	10,00	0,50	0,58	0,89
			<b>Total</b>		<b>53,25 MWp</b>	<b>79,93 GWh/th</b>

\* Pengukuran luas permukaan menggunakan citra satelit Google Earth

**Tabel 3** Potensi Teknis PLTS Terapung di Waduk Kecil (<10 ha) di Jawa Tengah

No.	Waduk	Tahun dibangun	Luas permukaan waduk		Potensi PLTS terapung (MWp)	Potensi pembangkitan (GWh/th)
			Total (ha)	5% luas (ha)		
1	Butak	1901–1902	8,39	0,42	0,47	0,73
2	Songputri	1977–1984	8,20	0,41	0,47	0,68
3	Simo*	1904–1907	6,67	0,33	0,37	0,58
4	<b>Pejengkolan</b>	1984–1986	4,85	0,24	0,28	0,42
5	Tempuran	1914–1916	4,72	0,24	0,27	0,39
6	Brambang	1939–1940	4,05	0,20	0,23	0,36
7	Blimbing	1922–1922	1,07	0,05	0,06	0,09
			<b>Total</b>		<b>2,14 MWp</b>	<b>3,24 GWh/th</b>

\* Pengukuran luas permukaan menggunakan citra satelit Google Earth

Saat ini hanya 5% dari luas permukaan air yang diperbolehkan untuk penggunaan PLTS terapung. Oleh karena itu, potensi kapasitas dan pembangkitan listrik dari PLTS terapung masih dapat ditingkatkan jika luas permukaan yang diperbolehkan diubah. Menurut studi The Energy Resources Institute (TERI) di India<sup>17</sup>, luas permukaan waduk yang dapat digunakan untuk PLTS terapung dapat ditingkatkan hingga 30% dari luas permukaan waduk tergantung dari fungsi waduk tersebut. Untuk pengendalian banjir dan irigasi, luas permukaan yang diperbolehkan bisa naik hingga 30%, sedangkan untuk waduk yang berfungsi sebagai pembangkit listrik tenaga

air bisa naik hingga 10% tanpa mempengaruhi kehidupan air yang mungkin telah berkembang selama masa pakai bendungan dan pertimbangan lingkungan lainnya. Hal ini dapat menjadi masukan untuk revisi peraturan menteri di masa mendatang untuk mendorong pengembangan PLTS terapung yang lebih besar.

Sebagai catatan tambahan, terdapat waduk kecil dan sedang (waduk dengan luas permukaan air kurang dari 100 hektar) yang mengalami kekeringan. Pada pengamatan lebih lanjut dengan melihat citra satelit dari waktu ke waktu, ditemukan bahwa sebagian besar waduk mengalami kekeringan selama musim kemarau di bulan

<sup>17</sup> TERI, 2019, <https://www.teriin.org/sites/default/files/2020-01/floating-solar-PV-report.pdf>



Juli dan September. Hal ini sesuai dengan profil radiasi matahari yang lebih tinggi dalam bulan-bulan tersebut. Spencer et al.<sup>3</sup> dan TERI<sup>17</sup> menyatakan bahwa pemasangan PLTS terapung pada waduk dapat mengurangi kehilangan air yang disebabkan oleh evaporasi. Oleh

karena itu, pemasangan PLTS terapung tidak hanya berkontribusi pada penyediaan listrik yang bersih dan rendah karbon, tetapi juga bisa berkontribusi terhadap manfaat tambahan seperti persediaan air dan lingkungan.

## Kesimpulan

Provinsi Jawa Tengah memiliki potensi PLTS terapung sebesar 723,07 MWp dari 42 waduk dengan total potensi pembangkitan listrik sebesar 974,66 GWh per tahun. Sebanyak 92,3% (atau 671,85 MWp) dari potensi tersebut disumbangkan oleh potensi teknis waduk besar (11 waduk), 7,36% (53,25 MWp) dari potensi teknis waduk sedang (24 waduk), dan sisanya (2,14 MWp) disumbangkan oleh potensi teknis waduk kecil (7 waduk).

## Rekomendasi dan Studi Lanjut

Untuk menindaklanjuti kajian ini, direkomendasikan untuk melakukan pengukuran dan pengamatan lapangan yang lebih akurat, mengingat sejumlah waduk rentan mengalami kekeringan, khususnya waduk berukuran kecil dan sedang (waduk dengan luas permukaan di bawah 100 hektar). Selain itu, perlu dilakukan kajian kelayakan (*feasibility study*) lanjutan yang mencakup pengukuran akurat lapangan (misalnya kedalaman waduk dan kondisi fisik bendungan), kelayakan jaringan,



hingga perkiraan biaya dan investasi sehingga menjadi sebuah dokumen lengkap untuk proyek potensial yang dapat direalisasikan. Selain itu, pemerintah dapat mempertimbangkan usulan peningkatan penggunaan luas permukaan waduk yang bisa digunakan untuk PLTS terapung hingga 30%, tergantung dari fungsi waduk. Peningkatan luasan ini memiliki manfaat tambahan dalam mengontrol laju evaporasi persediaan air waduk.

## Catatan

Lokasi waduk dalam laporan ini didapat dari daftar yang didapat IESR dan pemindaian Google Maps dilakukan pada bulan Mei – Juli 2020, dan tidak mempertimbangkan pembaruan atau ketidaksesuaian lokasi di luar moda pencarian tersebut.

Lampiran 1 - Peta Sebaran Waduk Waduk di Jawa Tengah



**Gambar 1.1** Peta sebaran lokasi waduk di provinsi Jawa Tengah

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum, Sumber Daya Air, dan Penataan Ruang, Provinsi Jawa Tengah<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Pusdataru Provinsi Jawa Tengah, 2015, <http://pusdataru.jatengprov.go.id/dokumen/waduk/Peta-Waduk-Jateng-2015.jpg>

## Lampiran 2 - Parameter Teknis HelioScope

### **Mechanical**

- ▶ *Racking* : Fixed tilt racking
- ▶ *Height* : 0,3 m (ketinggian umum untuk struktur pelampung "floaters")
- ▶ *Azimuth angle* : idealnya mengacu ke arah utara sebenarnya (*true north*), atau bisa juga 0°
- ▶ *Tilt angle* : mengikuti garis lintang (*latitude*), dalam hal ini di antara 6–8°
- ▶ *Solar module* : Modul polikristalin 350 Wp

*Maximized layout rules :*

- *Frame size* : 1 up, 1 wide
- *Orientation* : Landscape
- *Row spacing* : 0,4 m (tergantung pada desain struktur pelampung)
- *Module spacing* : 0,1 m (10 cm)
- *Frame spacing* : 0 m
- *Setback* : 0 m

### **Electrical**

- ▶ *DC-to-AC ratio* : 1,2–1,3
- ▶ *Inverter* : menggunakan *central inverter* untuk proyek >1 MWp projects.

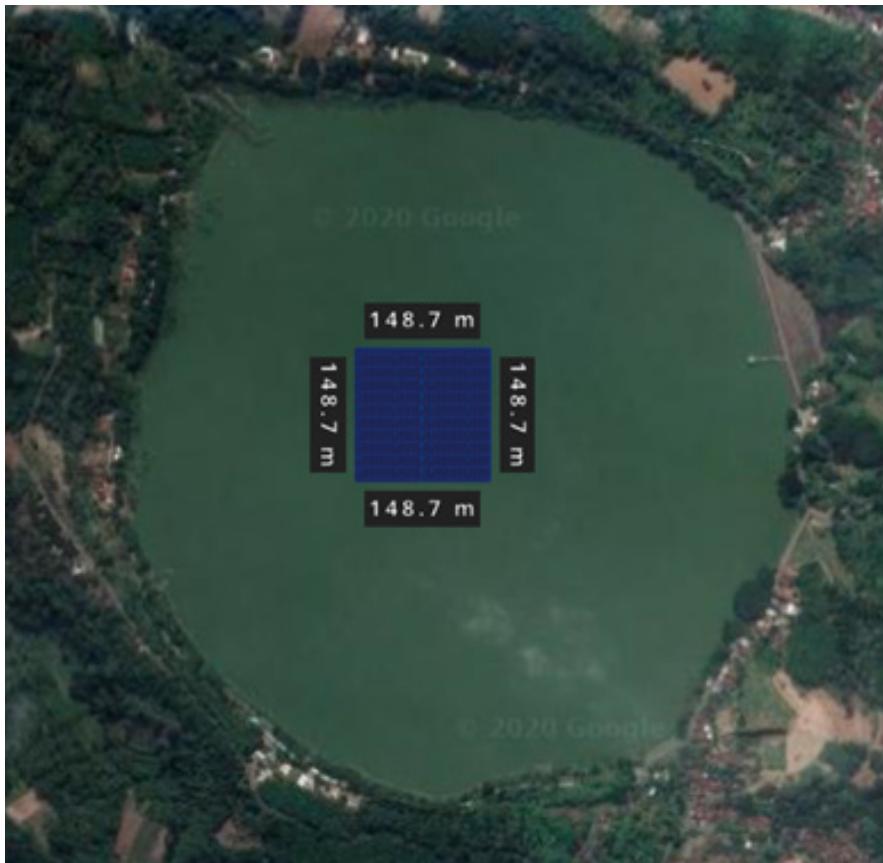
Sejumlah produsen tersedia untuk dipilih. Dalam hal kapasitas sistem PLTS terapung yang lebih rendah dari 1 MWp, digunakan pilihan *string inverter*.

### **Energy Yield Simulation**

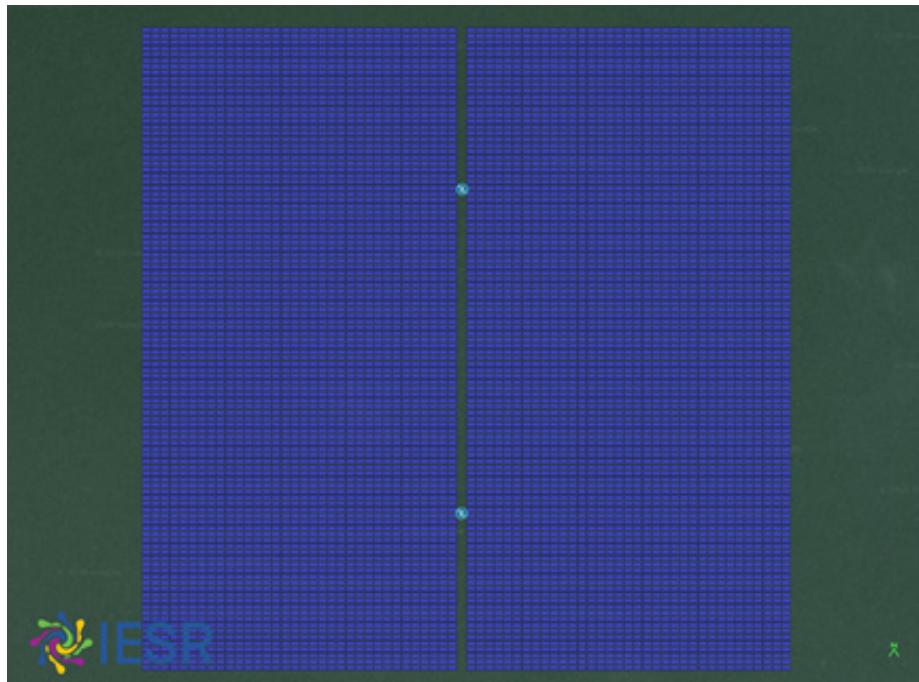
- Tambahan performa dari PLTS terapung 5–10% (+5% konservatif, +10% optimistis)
- Untuk mengimplementasikan tambahan performa dari PLTS terapung, HelioScope menyarankan untuk mengganti nilai *default soiling loss* (HelioScope, n.d.). Untuk penambahan konservatif (5% increase), ganti nilai *default soiling loss* menjadi 0%, dan untuk penambahan optimistis (10% increase), ganti nilai *default soiling loss* menjadi -5%.
- Asumsi optimis (-5% *default soiling loss*) digunakan untuk simulasi produksi energi

## Catatan

Penelitian ini tidak bertujuan mempromosikan modul surya atau *inverter* merk tertentu dalam perhitungan ini. Pemilihan dilakukan berdasarkan alasan teknis dan praktis, dengan memperhitungkan penerapan nyata di pasar global dan untuk simulasi yang lebih sesuai dengan kondisi nyata.

**Lampiran 3 - Desain PLTS Terapung dari Perangkat Lunak HelioScope**

**Gambar 3.1** Contoh desain sistem PLTS terapung dengan  
HelioScope pada Waduk Gunung Rowo (5% luas)



**Gambar 3.2** Tampilan perbesaran dari desain sistem PLTS terapung pada Waduk Gunung Rowo

## Catatan

Pembatas di tengah diasumsikan sebagai tempat jalan (*walkway*) dengan lebar sekitar 2 m untuk pemeliharaan serta penempatan *inverter* sentral; Desain ini tidak memperhitungkan pengoptimalan pemasangan kabel listrik dan rugi-rugi daya listrik (*electrical losses*)