

PERKEMBANGAN PEMANFAATAN PLTS DI BANDAR UDARA DI DUNIA

Abid Surya Bimantara¹, I Nyoman Satya Kumara², Wayan Gede Ariastina³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali
80361

Abidsurya.as@gmail.com¹

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dalam pengaplikasiannya sudah menjangkau sampai ke bisnis penerbangan. Sudah banyak bandar udara di seluruh dunia yang menggunakan PLTS sebagai suplai energi listriknya. Bandar udara dan lapangan penerbangan mempunyai peluang yang sangat tinggi untuk menampung teknologi surya karena banyaknya lahan terbuka. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau kekurangan atau kelebihan PLTS bandar udara dan melakukan survei bandar udara mana saja di dunia yg sudah memiliki PLTS. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari jurnal, artikel, dan berita di internet berupa data bandar udara yang menggunakan PLTS, tahun berdiri PLTS, kategori bandara, lokasi bandara, kapasitas PLTS bandara, Jenis PLTS. Kemudian dari data tersebut dilakukan review mengenai kekurangan dan kelebihan PLTS dan dimana saja terdapat PLTS bandara di dunia didapatkan hasil bahwa bahwa terdapat 192 bandar udara di seluruh dunia yang sudah menggunakan PLTS sebagai penyuplai energi listriknya, 43 diantaranya berada di benua Asia dan terdapat 5 PLTS bandara di Indonesia. Sebagian besar PLTS nya menggunakan sistem *on-grid*.

Kata kunci: PLTS bandara di dunia, Kelebihan PLTS bandara, Kekurangan PLTS bandara

ABSTRACT

Solar power plants in their application have reached the aviation business. There are already many airports everywhere that use solar power plants as their electrical energy supply. Airports and airfields have a very high opportunity to accommodate solar technology because of open land space. The purpose of this research is to review the advantages or disadvantages of airports solar power plants and conduct a survey of any airports in the world that already have solar power plants. This research used data collected from journals, articles, and news on the internet. Those data include airports that use solar power plants, solar power plants establishment year, airport category, airport location, airport solar power plants capacity, solar power plants type. Hence, the review describes the advantages and disadvantages of PLTS and its specific site everywhere. The results show that 192 airports already use PLTS as an electrical energy supplier. The Asian continent has 43 airports, and there are 5 airports solar power plants in Indonesia. Most of the solar power plant uses an on-grid system

Key Words: *Airport solar power plant, Advantage of airport solar power plant, Disadvantage of airport solar power plant*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS) dalam pengaplikasiannya sudah merambah sampai ke bisnis penerbangan. Sudah banyak bandar udara di seluruh dunia yang menggunakan PLTS sebagai suplai energi listriknya. Mulai dari sebagian beban listrik sampai seluruh beban listrik bandar udaranya disuplai oleh PLTS. Seperti pada bandar udara Soekarno-Hatta yang sudah menggunakan PLTS untuk

menyuplai sebagian dari kebutuhan energi listrik bandarannya [1], dan Bandar Udara Internasional Cochin, India yang sudah menggunakan PLTS untuk seluruh kebutuhan energi listriknya [2].

Bandar udara dan lapangan penerbangan mempunyai peluang yang sangat tinggi untuk menampung teknologi surya karena banyaknya lahan terbuka. Sebuah studi yang dilakukan oleh *Federal Aviation Administration (FAA), Departement*

of Agriculture (USDA), dan *Fish and Wildlife Service* (USFWS) menyebutkan bahwa pada tahun 2010 ada sekitar 15.000 bandara di Amerika Serikat. Dari jumlah tersebut, 2.915 dianggap signifikan bagi transportasi udara nasional dan termasuk dalam Rencana Nasional Sistem Bandara Terpadu. Penulis memperkirakan ada sekitar 3.306 kilometer persegi (816.930 hektar) padang rumput dalam 2.915 properti bandara yang signifikan di Amerika Serikat. Para penulis berpendapat bahwa padang rumput mewakili lahan kosong di bandara. Dengan asumsi bahwa 7 hektar padang rumput dapat menampung 1 MW fotovoltaik (PV) *fixed-axis (non-tracking)*, ada potensi 116.704 MW PV di lahan kosong di bandar udara di Amerika Serikat. Perhitungan ini mengecualikan lapangan terbang kecil dan militer [3].

Ada beberapa penelitian yang sudah membahas tentang PLTS di bandar udara seperti penelitian yang dilakukan oleh Jiang Mingkun dkk (2021), pada penelitiannya dilakukan analisis mengenai potensi dari pemasangan PLTS pada 239 bandar udara sipil di China, Hasilnya menunjukkan bahwa potensi kapasitas PV dari 239 bandar udara sipil China mencapai hingga 2,50 GW [4]. Lalu Adapun penelitian yang dilakukan oleh S. Sreenath dkk (2020), pada penelitiannya penulis membahas mengenai resiko pemasangan PLTS di bandar udara terhadap keselamatan penerbangan dan cara mengatasinya, dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa ada tujuh jenis kemungkinan bahaya dari sistem PV yang dipasangkan di bandar udara. Indeks risiko tertinggi untuk kejadian silau dari modul PV adalah serangan burung di lokasi PV, dan gangguan pada sistem komunikasi. Disimpulkan bahwa sebagian besar risiko memerlukan penerapan langkah-langkah mitigasi seperti penilaian silau sebelumnya di lokasi yang layak, pemantauan berkala aktivitas burung di susunan PV dan mengikuti jarak aman antara susunan PV dan alat bantu komunikasi [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau kekurangan atau kelebihan PLTS bandar udara dan melakukan survei bandar udara mana saja di dunia yg sudah memiliki PLTS. Informasi ini diharapkan dapat menjadi gambaran bagi pengelola bandar udara di Indonesia tentang potensi bandar udara sebagai lokasi pemasangan PLTS sehingga dapat mendukung

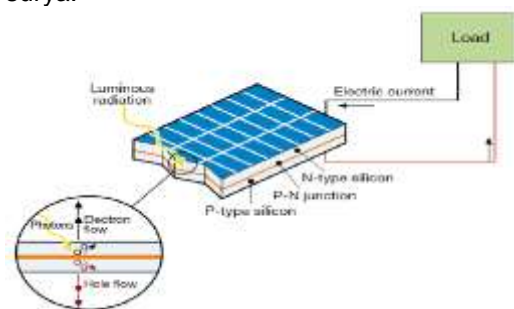
pemerintah mencapai target PLTS 2025 dan juga ikut mengurangi emisi gas buang dengan memanfaatkan energi bersih.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (*Photovoltaic*) untuk merubah radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya. [6].

Komponen dasar dari PLTS adalah sel surya sebagai media untuk konversi radiasi matahari menjadi arus listrik. Sel ini terdiri dari lapisan-lapisan tipis bahan semikonduktor, yang umumnya terbuat dari pengolahan silikon dengan ketebalan sekitar 0,3 mm dan dengan permukaan dari 100 hingga 225 cm². Silikon memiliki 4 elektron valensi (tetravalensi), didoping dengan atom trivalensi (misalnya boron untuk doping P) pada satu lapisan dan sejumlah atom pentavalensi (misalnya fosfor untuk doping N) pada lapisan lainnya. Dengan demikian, maka daerah tipe-P kelebihan lubang (*holes*), sedangkan daerah tipe-N kelebihan elektron. Terdapat lubang dan elektron lebih inilah yang menyebabkan terjadinya perpindahan elektron, ketika terkena sinar matahari [7]. Gambar 1 memperlihatkan prinsip kerja sel surya.



Gambar 1 Prinsip kerja Sel Surya [7]

Komponen utama PLTS lainnya adalah inverter. Inverter merupakan sebuah peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengkonversi arus listrik searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50/60 Hz. Pada PLTS, inverter satu fasa biasanya

digunakan untuk sistem dengan beban yang kecil sedangkan untuk inverter tiga fasa digunakan untuk sistem dengan beban yang besar maupun sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (*grid-connected*) [7].

Berdasarkan lokasi pemasangannya sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, sistem pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem terpusat (*centralized PV plant*). Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem tidak terhubung jaringan (*off-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), dan sistem PLTS terhubung jaringan (*grid-connected PV plant*). Apabila dalam penggunaannya PLTS digabung atau dipasangkan dengan jenis pembangkit listrik lain maka disebut sistem *hybrid* [6].

2.2 Bandar Udara

Bandara merupakan sebuah fasilitas di mana pesawat terbang seperti pesawat udara dan helikopter dapat lepas landas dan mendarat. Bandar udara secara umum digolongkan dalam beberapa tipe menurut berbagai kriteria yang disesuaikan dengan keperluan penggolongannya antara lain, berdasarkan kriteria fisiknya, bandara dapat digolongkan menjadi *seaplane base*, *stol port* (jarak *take-off* dan *landing* yang pendek), dan bandar udara konvensional. Lalu berdasarkan pengelolaan dan penggunaannya, bandar udara dapat digolongkan menjadi dua, yakni bandar udara umum yang dikelola pemerintah untuk penggunaan umum maupun militer atau bandara swasta/pribadi yang dikelola/digunakan untuk kepentingan pribadi/perusahaan swasta tertentu. Berdasarkan aktifitas rutusnya, bandara dapat digolongkan menurut jenis pesawat terbang yang beroperasi (*enplanements*) serta menurut karakteristik operasinya. Berdasarkan fasilitas yang tersedia, bandara dapat dikategorikan menurut jumlah *runway* yang tersedia, alat navigasi yang tersedia, kapasitas hangar, dan lain sebagainya, dan berdasarkan tipe perjalanan yang dilayani, bandara dapat digolongkan bandara internasional, bandara domestik dan gabungan bandara internasional domestik [8].

Solar PV adalah teknologi yang dapat dengan mudah dirancang ke dalam lanskap yang ada tanpa modifikasi besar karena konstruksi modularnya yang relatif

sederhana. Untuk lingkungan bandara, ini berarti PV dapat ditempatkan di lokasi yang tidak digunakan untuk kegiatan penerbangan dan oleh karena itu memiliki nilai yang kecil bagi bandara atau untuk pengembangan alternatif

2.3 Keuntungan Dan Kekurangan PLTS Pada Bandar Udara

Sistem PV dapat dengan mudah disesuaikan ke area manapun yang diidentifikasi di properti bandara. Desain panel surya yang datar membuatnya nyaman untuk dipasang ke berbagai lokasi seperti tiang, tempat parkir, dan struktur buatan manusia lainnya. Karena sinar matahari mencapai setiap bagian bumi, sistem PV ini dapat dipasang di beberapa lokasi di semua bandara di seluruh dunia. Profil ketinggian yang rendah dari panel surya mengurangi hambatan fisik dan risiko keselamatan untuk operasi navigasi yang aman. Dalam kasus tertentu, panel surya juga dapat ditempatkan di banyak lokasi di lapangan penerbangan, termasuk di dekat landasan pacu tanpa mengakibatkan dampak fisik di wilayah udara [9].

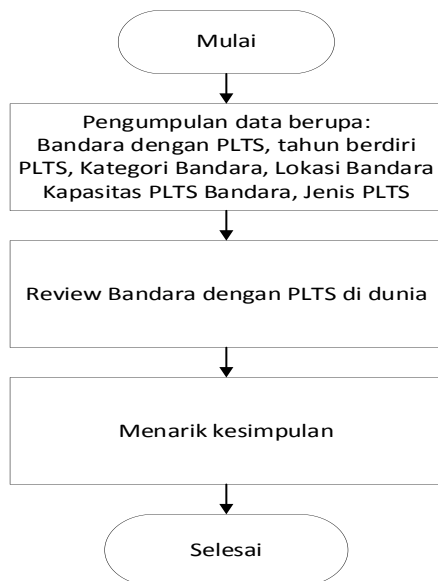
Karena panel surya dapat menyediakan listrik selama terdapat sinar matahari, sumber alternatif harus diaktifkan untuk mengisi defisit. Hal ini menyebabkan dibutuhkan penyimpanan listrik untuk energi matahari dalam baterai (membuat sistem lebih mahal) atau mengambil listrik dari jaringan pada malam hari (*micro grid*). Pada kenyataannya, ketika memperhitungkan waktu malam, gangguan cuaca, dan lokasi geografis, panel surya biasanya hanya menghasilkan rata-rata sekitar 15 persen dari kapasitas terpasangnya. Ini lebih rendah dari teknologi energi terbarukan lainnya seperti hidro, angin dll. [9].

Sistem PV memanfaatkan properti yang kurang dimanfaatkan, baik tanah yang belum dikembangkan atau di gedung atau parkir di atas permukaan. Panel surya menyediakan biaya listrik yang stabil (tanpa biaya bahan bakar operasional dan biaya perawatan paling rendah) dan terhadap harga bahan bakar fosil yang mudah berubah dan penghematan dalam tagihan energi bandara. Pembangkit listrik tenaga surya di lokasi dapat menjadi sumber pendapatan non maskapai yang signifikan. Hampir tidak ada biaya di muka untuk fasilitas dalam kasus tertentu [9].

Di balik kelebihanannya PLTS bandara juga memiliki Ancaman. Ancaman tersebut dapat diartikan dari dua aspek yang berbeda, yaitu keselamatan bandara dan dampak lingkungan. Karena panel surya memiliki permukaan yang halus dan mengkilat, hal ini dapat menyebabkan silau terutama saat matahari rendah di langit dan mempengaruhi visibilitas pilot dan petugas kontrol lalu lintas udara. Jika tidak ditempatkan dengan benar, sistem Solar PV menimbulkan gangguan pada alat bantu navigasi dan menyebabkan penetrasi fisik ke wilayah udara navigasi yang aman. [9].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari jurnal, artikel, dan berita di internet berupa data bandar udara yang menggunakan PLTS, tahun berdiri PLTS, kategori bandara, lokasi bandara, kapasitas PLTS bandara, Jenis PLTS. Kemudian dari data tersebut dilakukan review mengenai kekurangan dan kelebihan PLTS dan dimana saja terdapat PLTS bandara di dunia. Flowchart penelitian dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Flowchart Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bandar Udara dengan PLTS di Asia

Perkembangan industri penerbangan dan teknologi penerbangan di dunia sangat berkembang pesat. Hal ini juga memberikan dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Bandar udara membutuhkan energi listrik yang banyak untuk pengoperasiannya. Gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkit energi fosil yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bandar udara ini menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Penggunaan energi terbarukan di bandar udara memberikan manfaat keuangan dan kebijakan publik serta mengurangi gas rumah kaca. Di Indonesia terdapat 339 bandar udara domestik, regional, dan internasional [10]. Terdapat 5 bandar udara di Indonesia yang sudah menggunakan PLTS sebagai penyuplai energi listriknya yaitu Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin di Bima dengan PLTS *on-grid* 200 kW, Bandar Udara Umu Meheng Kunda di Waingapu dengan PLTS 300 kW, Bandar Udara Tambolaka Waikabubak di Kabupaten Sumba Barat dengan PLTS *on-grid* 400 kW, Bandar Udara Kalimantan di Kabupaten Berau dengan PLTS *on-grid* kapasitas 315 kW [11], dan Bandar Udara Soekarno-Hatta dengan PLTS *on-grid* kapasitas 241 kW [1].

Di Asia sudah terdapat 43 bandar udara yang menggunakan PLTS sebagai sumber energi listriknya. Semua bandar udara menggunakan sistem *on-grid* pada PLTS nya. Kapasitas PLTS nya pun beragam mulai dari yang terkecil 50 kW di Jhodpur *Airport*, India, sampai dengan 35 MW di Nagasaki *Airport*, Jepang. Total kapasitas PLTS bandar udara di Asia berjumlah 141,857 MW. Rincian PLTS bandar udara di Asia dapat dilihat pada Tabel 1.

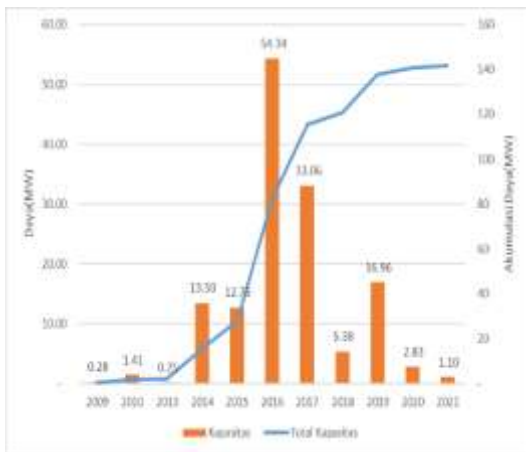
Tabel.1 Bandar Udara dengan PLTS di Asia

No	Negara	Bandara	Kapasitas (kW)	Jenis Bandara	Kota/ Kabupaten	Tahun Operasi	On Grid/ off Grid
1	Vietnam	Tan Son Nhat International Airport	1,100	Internasional	Ho Chi Minh	2021	On Grid
2	Indonesia	Bandar Udara Internasional Soekarno–Hatta	241	Internasional	Tangerang	2020	On Grid
3	India	Puducherry Airport	500	Regional	Lawspet	2020	On Grid
4	Turkey	Erzincan Airport	2,090	Regional	Ezrincan	2020	On Grid
5	China	Beijing Daxing International Airport	5,610	Internasional	Daxing	2019	On Grid
6	India	Prayagraj Airport	300	Domestik	Allahabad	2019	On Grid
7	India	Biju Patnaik International (Bpi) Airport	4,000	Internasional	Bhubaneswar	2019	On Grid
8	India	Gondia Airport	220	Domestik	Gondia	2019	On Grid
9	India	Dibrugarh Airport	220	Domestik	Assam	2019	On Grid
10	India	Vijaywada Airport	1,000	Internasional	Andra Pradesh	2019	On Grid
11	India	Tiruchirapalli (Trichy) International Airport	140	Internasional	Tamil Nadu	2019	On Grid
12	India	Gaya Airport	220	Internasional	Gaya	2019	On Grid
13	India	Madurai Airport	900	Internasional	Madurai	2019	On Grid
14	India	Kempegowda International Airport	3,350	Internasional	Bengaluru	2019	On Grid
15	India	Raja Bhoj Airport	1,000	Domestik	Bopal	2019	On Grid
16	India	Renigunta International Airport	1,000	Internasional	Renigunta	2018	On Grid
17	India	Devi Ahilyabai Holkar Airport	1,000	Internasional	Indore	2018	On Grid
18	India	Jaipur Airport	1,900	Internasional	Jaipur	2018	On Grid
19	India	Jodhpur Airport	100	Domestik	Jodhpur	2018	On Grid
20	India	Sardar Vallabhbhai Patel International Airport	700	Internasional	Ahedabad	2018	On Grid
21	India	Vadodara Airport	675	Domestik	Vadodara	2018	On Grid
22	Indonesia	Muhammad Sultan Salahuddin Airport	200	Domestik	Kabupaten Bima	2017	On Grid
23	Indonesia	Umbu Mehang Kunda Airport	300	Domestik	Waingapu	2017	On Grid
24	Indonesia	Kalimarau Airport	315	Internasional	Kabupaten Berau	2017	On Grid
25	Indonesia	Tambolaka-Waikabubak Airport	400	Domestik	Kabupaten Sumba Barat Daya	2017	On Grid
26	Filipina	Mactan Cebu International Airport	1,640	Internasional	Lapu-Lapu	2017	On Grid
27	India	Netaji Subhash Chandra Bose International Airport	15,000	International	Dum-Dum	2017	On Grid
28	India	Bagdogra International Airport	50	Internasional	Siliguri	2017	On Grid
29	India	Veer Savarkar International Airport	158	Internasional	Port Blair	2017	On Grid
30	India	Netaji Subhash Chandra Bose International Airport	15,000	Internasional	Kolkata	2017	On Grid
31	India	Chandigarh International Airport	5,000	Internasional	Mohali	2016	On Grid
32	India	Chennai Airport	1,500	Internasional	Chennai	2016	On Grid
33	India	Gandhi International Airport	7,840	Internasional	New Delhi	2016	On Grid
34	India	Hyderabad International Airport	5,000	Internasional	Hyderabad	2016	On Grid
35	Jepang	Nagasaki Airport	35,000	Domestik	Nagasaki	2016	On Grid
36	India	Cochin International Airport (Cial)	12,000	Internasional	Kochi	2015	On Grid
37	India	Calicut International Airport	750	Internasional	Calicut	2015	On Grid
38	Malaysia	Kuala Lumpur International Airport	1,900	International	Sepang	2014	On Grid
39	Jepang	Kansai International Airport	11,600	International	Osaka	2014	On Grid
40	Turkey	Antalya Airport	250	Regional	Antalya	2013	On Grid
41	Singapura	Changi International Airport	250	Internasional	Singapura	2010	On Grid
42	Jepang	Haneda Airport	1,157	Internasional	Tokyo	2010	On Grid
43	Korea Selatan	Incheon International Airport	281	International	Seoul	2009	On Grid
Total kapasitas			141,857				

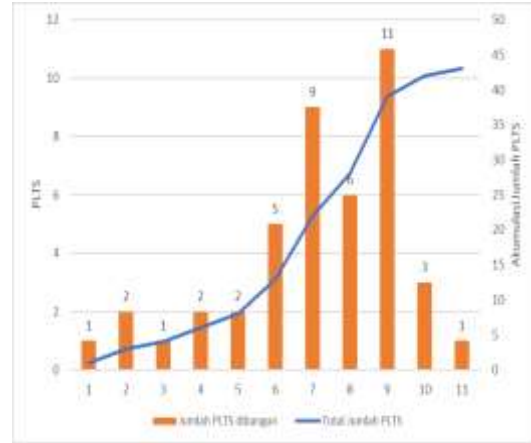
Perkembangan PLTS di Asia dimulai di Bandar Udara Internasional Incheon, Seoul, Korea Selatan pada tahun

2009 dengan kapasitas PLTS 281 kW, kemudian mulai berkembang pada tahun 2014. Di tahun 2015 PLTS 12 MW Cochin

International Airport (CIAL) mulai beroperasi yang membuat CIAL menjadi bandar udara pertama yang ditenagai penuh oleh PLTS, Pada tahun 2016 terjadi perkembangan kapasitas PLTS bandar udara yang sangat pesat karena dibangunnya beberapa PLTS bandar udara dengan kapasitas yang besar seperti di bandar udara Nagasaki, Jepang yaitu PLTS 35 MW dan Bandar Udara International Ghandi, India sebesar 7,84 MW. Pada tahun 2017 sampai dengan 2019 ada banyak PLTS bandar udara yang dibangun di benua Asia terutama di India dan Indonesia lalu mulai berkurang di tahun 2020 dan 2021 sehingga total kapasitas PLTS bandar udara di Asia berjumlah 141.857 MW per-tahun 2021. Grafik perkembangan kapasitas PLTS bandar udara di benua Asia dapat dilihat pada gambar 3 dan grafik perkembangan jumlah PLTS yang dibangun di benua Asia bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 3 Perkembangan Kapasitas PLTS Bandar Udara di Benua Asia



Gambar 4 Perkembangan Jumlah PLTS Bandar Udara di Benua Asia

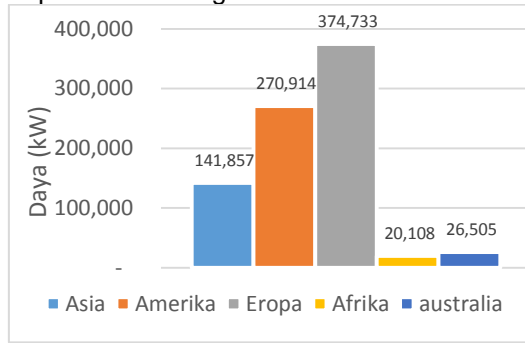
4.2 PLTS Bandar Udara di Dunia

PLTS sebagai penyuplai energi listrik bandar udara sudah digunakan oleh beberapa negara di dunia. Sudah terdapat 192 negara dari 5 benua yang menggunakan PLTS sebagai suplai energinya yaitu benua Asia, Afrika, Amerika, Australia, dan Eropa. Sebagian besar bandar udara yang menggunakan PLTS adalah bandar udara dengan jenis bandar udara internasional. Kapasitas dari PLTS bandar udara ini beragam mulai dari yang terkecil yaitu pembangkit listrik 1 kW yang dibangun di Bandar Udara Regional Dickinson Theodore Roosevelt. PLTS ini dibangun untuk mendukung *National Adopt A-watt Program* (NAAWP) yang bertujuan untuk membantu menciptakan energi bersih dan mengurangi ketergantungan amerika terhadap minyak dari luar [12]. PLTS bandar udara terbesar terdapat di Bandar Udara Militer Neuhardenberg di Jerman dengan kapasitas 145 MW. PLTS Neuhardenberg didirikan di area seluas 35 hektar dari lokasi lapangan terbang 240 hektar. Pembangkit memiliki sekitar 60.000 panel fotovoltaik. PLTS ini diperkirakan dapat menghasilkan 19,69 juta kWh/tahun energi listrik terbarukan yang cukup untuk 48.000 rumah [13]. Rincian Bandar Udara yang menggunakan PLTS dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bandar Udara yang Menggunakan PLTS

No	Negara	Bandara	Kap. (kWp)	Jenis Bandara	No	Negara	Bandara	Kap. (kWp)	Jenis Bandara
1	Algeria	Ahmed Ben Bella International Airport	1,390	Internasional	97	Norwegia	Svalbard Airport	140	Internasional
2	Amsterdam	Schiphol International Airport	15,000	Internasional	98	Norwegia	Svalbard Longyear Airport	140	Regional
3	Antigua	V. C. Bird International Airport	3,000	Internasional	99	Perancis	Airport	2,000	Internasional
4	Aruba	Reina Beatrix Airport Aruba	3,300	Internasional	100	Perancis	Montpellier Airport	4,500	Internasional
5	Australia	Argyle Airport	75	Regional	101	Perancis	Carcassonne Airport	320	Internasional
6	Australia	Canberra International Airport	4,000	Internasional	102	Perancis	Dearville Saint Gatien Airport	60,000	Internasional
7	Australia	Adelaide International Airport	1,280	Internasional	103	Polandia	Airport	800	Internasional
8	Australia	Bankstown Airport	1,900	Domestik	104	Portugal	Faro Airport	3,000	Internasional
9	Australia	Sidney Airport	550	Internasional	105	Prancis	Toulouse Blagnac Airport	1,096	Internasional
10	Australia	Brisbane Airport	1,600	Domestik	106	Republik Ceko	Brno Airport	21,700	Internasional
11	Australia	Melbourne International Airport	12,300	Internasional	107	Saint Kitts	Robert L. Bradshaw International Airport	1,000	Internasional
12	Australia	Alice Springs Airport	800	Regional	108	Saint Vincent and Grenadines	Argyle International Airport	218	Internasional
13	Australia	Darwin International Airport	4,000	Internasional	109	Singapura	Changi International Airport	250	Internasional
14	Austria	Vienna International Airport	509	Internasional	110	Siprus	Larnaca International Airport	3,500	Internasional
15	Barbados	Grantley Adams International Airport	381	Internasional	111	Siprus	Paphos International Airport	1	Internasional
16	Belanda	Maastricht Airport	10	Regional	112	South Africa	George Airport	750	Internasional
17	Belanda	Groningen Airport	21,900	Regional	113	South Africa	Kimberley Airport	500	Regional
18	Belanda	Rotterdam The Hague Airport	138	Regional	114	South Africa	Upington Airport	500	Regional
19	Belgia	Brussels International Airport	1,200	Internasional	115	South Africa	East London Airport	750	Regional
20	Benin	Cotonou Airport	40	Internasional	116	South Africa	Port Elizabeth International Airport	1,000	Internasional
21	Brazil	Savador Bahia Airport	4,200	Internasional	117	South Africa	Bram Fischer International Airport	750	Internasional
22	Britania Raya	London Gatwick Airport	50	Internasional	118	Swedia	Jönköping Airport	200	Regional
23	Britania Raya	Macbrishish Airbase	1,000	Militer	119	Swedia	Malmo Airport	500	Regional
24	Britania Raya	Raf Brize Norton International Airport	70	Internasional	120	Swiss	Zurich International Airport	1,754	Internasional
25	Britania Raya	Bristol International Airport	36	Internasional	121	Turkey	Erzincan Airport	2,090	Regional
26	Britania Raya	Bournemouth International Airport	75	Internasional	122	Turkey	Antalya Airport	250	Regional
27	Britania Raya	Manchester International Airport	500	Internasional	123	Uruguay	Carrasco International Airport	500	Internasional
28	Britania Raya	London City Airport	230	Internasional	124	US	Meadows Field	880	Internasional
29	Britania Raya	London Southend International Airport	119	Internasional	125	US	Fresno Yosemite International Airport	2,400	Internasional
30	Britania Raya	Norwich International Airport	250	Internasional	126	US	Long Beach Airport	380	Regional
31	Britania Raya	Airport	1,500	Internasional	127	US	Monterey Regional Airport	1,500	Regional
32	China	Beijing Daxing International Airport	5,610	Internasional	128	US	Sacramento International Airport	7,900	Internasional
33	Columbia	Columbia Metropolitan Airport	1,000	Internasional	129	US	San Francisco International Airport	20	Internasional
34	Denmark	Copenhagen Airport	124	Internasional	130	US	Airport	1,100	Internasional
35	Dominican Republic	Las Americas International Airport	1,000	Internasional	131	US	Airport	884	Regional
36	East Africa	Jomo Kenyatta International Airport	110	Internasional	132	US	Yampa Valley Airport	250	Regional
37	Filipina	Mactan Cebu International Airport	1,640	Internasional	133	US	Pittsburgh International Airport	20,000	Internasional
38	Finlandia	Helsinki International Airport	669	Internasional	134	US	Destin-Fort Walton Beach Airport	30,000	Regional
39	Florida	Tampa International Airport	2,000	Internasional	135	US	Gainesville Regional Airport	292	Regional
40	Guadeloupe	Pointe-à-Pitre Airport'S	1,000	Internasional	136	US	Miami International Airport	160	Internasional
41	Guyana	Ogle International Airport	20	Internasional	137	US	Orlando Sanford International Airport	50,000	Internasional
42	India	Puducherry Airport	500	Regional	138	US	Vero Beach Regional Airport	5,500	Regional
43	India	Prayagraj Airport	300	Domestik	139	US	Airport	81	Internasional
44	India	Biju Patnaik International (Bpt) Airport	4,000	Internasional	140	US	Hilo International Airport	150	Internasional
45	India	Gondia Airport	220	Domestik	141	US	Kahului Airport	369	Regional
46	India	Dibrugarh Airport	220	Domestik	142	US	Lihue Airport	338	Regional
47	India	Vijaywada Airport	1,000	Internasional	143	US	Kona International Airport	61	Internasional
48	India	Airport	140	Internasional	144	US	Chicago Midway International Airport	25	Internasional
49	India	Gaya Airport	220	Internasional	145	US	Quad City International Airport	1,900	Internasional
50	India	Madurai Airport	900	Internasional	146	US	Chicago Rockford International Airport	2,000	Internasional
51	India	Kempegowda International Airport	3,350	Internasional	147	US	Evansville Regional Airport	1,300	Regional
52	India	Raja Bhoj Airport	1,000	Domestik	148	US	Portland International Jetport	335	Internasional
53	India	Renigunta International Airport	1,000	Internasional	149	US	Airport	505	Internasional
54	India	Devi Ahilyabai Holkar Airport	1,000	Internasional	150	US	Cyril E. King Airport	451	Internasional
55	India	Jaipur Airport	1,900	Internasional	151	US	Dane County Regional Airport	9,000	Regional
56	India	Jodhpur Airport	100	Domestik	152	US	Appleton International Airport	230	Internasional
57	India	Airport	700	Internasional	153	US	Yeager Airport	606	Internasional
58	India	Vadodra Airport	675	Domestik	154	US	Burlington International Airport	578	Internasional
59	India	International Airport	15,000	Internasional	155	US	San Antonio International Airport	235	Internasional
60	India	Bagdogra International Airport	50	Internasional	156	US	Austin-Bergstrom International Airport	4,285	Internasional
61	India	Veer Savarkar International Airport	158	Internasional	157	US	Pittsburgh International Airport	3,000	Internasional
62	India	International Airport	15,000	Internasional	158	US	Greater Rochester International Airport	100	Internasional
63	India	Chandigarh International Airport	5,000	Internasional	159	US	Laguardia Airport	1,500	Internasional
64	India	Chennai Airport	1,500	Internasional	160	US	Albuquerque International Airport	1,000	Internasional
65	India	Gandhi International Airport	7,840	Internasional	161	US	Newark Liberty International Airport	633	Internasional
66	India	Hyderabad International Airport	5,000	Internasional	162	US	Atlantic City International Airport	5,700	Internasional
67	India	Cochin International Airport (Cial)	12,000	Internasional	163	US	Manchester-Boston Regional Airport	525	Internasional
68	India	Calicut International Airport	750	Internasional	164	US	Lebanon City Airport	123	Regional
69	Indonesia	Soekarno-Hatta	241	Internasional	165	US	Reno-Tahoe International Airport	135	Internasional
70	Indonesia	Muhammad Sultan Salabuddin Airport	200	Domestik	166	US	Columbia Metropolitan Airport	1,380	Regional
71	Indonesia	Umbu Mehang Kunda Airport	300	Domestik	167	US	San Diego International Airport	5,500	Internasional
72	Indonesia	Kalimara Airport	315	Internasional	168	US	Birmingham Airport	50	Internasional
73	Indonesia	Tambolaka-Waikabubak Airport	400	Domestik	169	US	Portland International Jetport	335	Internasional
74	Ingris	London Heathrow International Airport	71	Internasional	170	US	Rogue Valley International Airport	39	Internasional
75	Ingris Raya	Birmingham International Airport	50	Internasional	171	US	Airport	1	Regional
76	Irlandia	Dublin Airport	110	Internasional	172	US	New York'S Jfk Airport	13,000	Internasional
77	Italia	Bari International Airport	20	Internasional	173	US	Augusta State Airport	12,300	Regional
78	Italia	Brindisi Airport	64,900	Internasional	174	US	Indianapolis International Airport	20,000	Internasional
79	Jamaica	Sangster International Airport	2,000	Internasional	175	US	Tucson International Airport	1,250	Internasional
80	Jamaica	Norman Manley International Airport	113	Internasional	176	US	Kahului Airports	2,474	Domestik
81	Jepang	Nagasaki Airport	35,000	Domestik	177	US	Minneapolis-St. Paul International Airport	3,000	Internasional
82	Jepang	Kansai International Airport	11,600	Internasional	178	US	Sacramento International Airport	158	Internasional
83	Jepang	Haneda Airport	1,157	Internasional	179	US	Minneapolis-St. Paul International Airport	4,300	Internasional
84	Jepang	Kamuzu International Airport	830	Internasional	180	US	Tallahassee International Airport	6,200	Internasional
85	Jerman	Neuhardenberg Military Airport	145,000	Militer	181	US	Chattanooga Airport	2,640	Domestik
86	Jerman	Dusseldorf International Airport	2,000	Internasional	182	US	Denver International Airport	10,000	Internasional
87	Jerman	Saarbrücken International Airport	4,200	Internasional	183	US	Lakeland Linder International Airport	6,000	Internasional
88	Kamerun	Douala International Airport	1,200	Internasional	184	US	Airport	2,400	Internasional
89	Kenya	Moi International Airport	507	Internasional	185	US	Boston Logan International Airport	367	Internasional
90	Korea Selatan	Incheon International Airport	281	Internasional	186	US	St. Louis Lambert International Airport	1,000	Internasional
91	Lesotho	Moshoeshe I International Airport	281	Internasional	187	US	Hanscom Field	51	Regional
92	Liberia	Robert International Airport	10,000	Internasional	188	US	Pierre Regional Airport	1,000	Regional
93	Madrid	Barajas International Airport	7,500	Internasional	189	US	Palm Beach International Airport	65	Internasional
94	Malaysia	Kuala Lumpur International Airport	1,900	Internasional	190	US	Daniel K. Inouye International Airport	1,100	Internasional
95	Mauritania	Nouakchott Airport	1,500	Internasional	191	vietnam	Tan Son Nhat International Airport	1,100	Internasional
96	Norwegia	Svalbard Airport	140	Internasional	192	Yunani	Airport	8,000	Internasional
Total Kapasitas									834,257

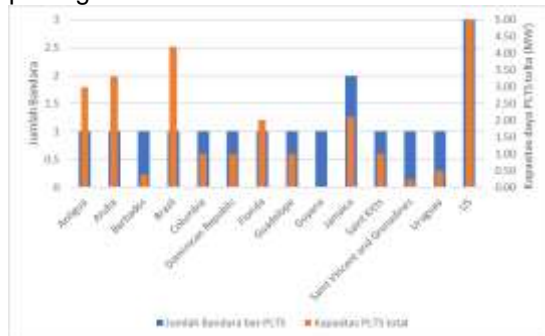
Berdasarkan tabel 2 didapatkan total kapasitas PLTS Bandar Udara tiap benua yaitu 141,857 MW di benua Asia, 270,914 MW di benua Amerika, 374,733 MW di benua Eropa, 20,108 MW di benua Afrika dan 26,505 MW di benua Australia, sehingga total kapasitas PLTS bandar udara seluruh dunia adalah 834,257 MW. Perbandingan kapasitas PLTS tiap benua dapat dilihat ada gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Kapasitas PLTS Di Dunia

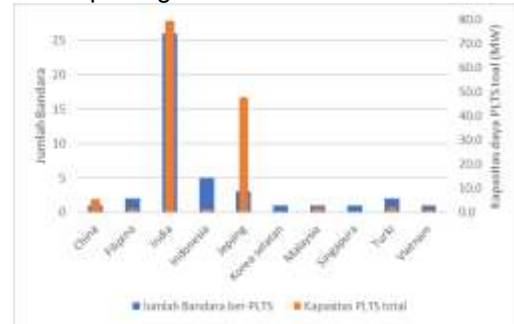
4.3 Jumlah dan Total kapasitas PLTS Bandar Udara Setiap Negara di Dunia

Dari sejumlah bandar udara di tiap negara, hanya beberapa saja yang menggunakan PLTS sebagai penyuplai listriknya. Di Benua Amerika terdapat 15 negara yang memiliki bandar udara yang menggunakan PLTS sebagai penyuplai energi listriknya, Amerika Serikat adalah negara yang cukup banyak menggunakan PLTS pada bandar udaranya dengan 66 bandar udara yang terdata sudah menggunakan PLTS sebagai penyuplai energi listriknya dari total 5217 bandar udara dengan total kapasitas 251.041 kW Sedangkan di negara lainnya hanya memiliki 1 atau 2 saja bandar udara yang menggunakan PLTS seperti diperlihatkan pada gambar 6.



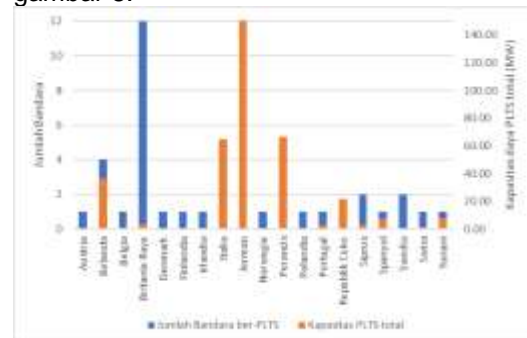
Gambar 6. Grafik Jumlah dan Total Kapasitas PLTS Bandar Udara Setiap Negara di Benua Amerika

Di benua Asia terdapat 10 negara yang memiliki bandar udara yang menggunakan PLTS, terdapat 43 total bandar udara yang menggunakan PLTS di benua Asia. Dari 10 negara tersebut India adalah negara dengan bandar udara ber-PLTS terbanyak dengan total 26 bandar udara dengan total kapasitas 79.523 kW. Jumlah dan total kapasitas PLTS bandar udara setiap negara di benua Asia dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Jumlah dan Total Kapasitas PLTS Bandar Udara Setiap Negara di Benua Asia

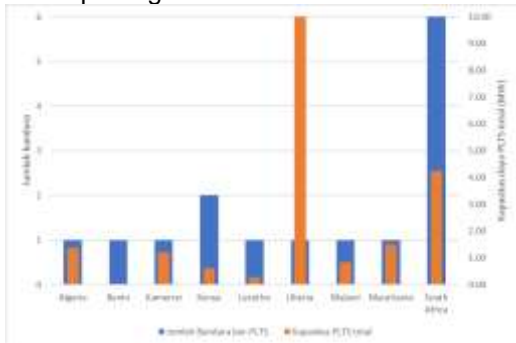
Di benua Eropa terdapat 19 negara yang memiliki bandar udara yang menggunakan PLTS, terdapat total 50 bandar udara yang menggunakan PLTS di benua Eropa. Dari 18 negara tersebut Britania Raya adalah negara dengan bandar udara ber PLTS terbanyak dengan total 12 bandar udara namun kapasitas terbesar PLTS terdapat di Jerman dengan total kapasitas 151.200 kW. Jumlah dan total kapasitas PLTS bandar udara setiap negara di Benua Eropa dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 . Grafik Jumlah dan Total Kapasitas PLTS Bandar Udara Setiap Negara di Benua Eropa

Di benua Afrika terdapat 10 negara yang memiliki bandar udara yang menggunakan PLTS, terdapat total 16 bandar udara yang menggunakan PLTS di

benua Afrika. Dari 10 negara tersebut Afrika Selatan adalah negara dengan bandar udara ber PLTS terbanyak dengan total 6 bandar udara dengan total kapasitas 4250 kW. PLTS dengan kapasitas terbesar di benua Afrika ini terdapat di negara Liberia dengan kapasitas 10000 kW. Jumlah dan total kapasitas PLTS bandar udara setiap negara di Benua Afrika dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Jumlah dan Total Kapasitas PLTS Bandar Udara Setiap Negara di Benua Afrika

Benua Australia memiliki 9 bandar udara yang menggunakan PLTS dari total 175 bandar udara dengan kapasitas total 26,505 MW.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis mengenai perkembangan PLTS bandar udara di seluruh dunia dan kelebihan maupun kelemahannya didapatkan hasil bahwa Terdapat 192 bandar udara di seluruh dunia yang sudah menggunakan PLTS sebagai penyuplai energi listriknya, 43 diantaranya berada di benua Asia dan terdapat 5 PLTS bandara di Indonesia dimana sebagian besar PLTS nya menggunakan sistem *on-grid*.

PLTS bandar udara memiliki kelebihan dimana dapat memanfaatkan lahan manapun di bandar udara seperti atap gedung, parkir maupun lahan kosong di sebelah landasan yang tidak terpakai di bandar udara. Pemasangan PLTS juga tidak susah dan tidak menimbulkan dampak yang signifikan terhadap lingkungan. PLTS ini juga dapat membantu menambah pendapatan bandar udara. Namun dalam pemasangannya, PLTS harus memperhatikan tentang faktor keselamatan bandara seperti silau pada panel surya yang dapat mengganggu penglihatan pilot dan kemungkinan

terjadinya gangguan navigasi akibat pemasangan PLTS.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Rozi, N. A. Sasongko, dan Y. D. Kuntjoro, "Pemanfaatan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta Untuk Mendukung Ketahanan Energi," *Ketahanan Energi*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [2] P. Paramashivaiah, S. Chakraborty, dan R. Shashidhar, "Illuminating an Airport with Sustainable Energy: Case of Cochin International Airport," *OIDA Int. J. Sustain. Dev.*, vol. 11, no. 11, hlm. 11–16, 2018.
- [3] A. Kandt dan R. Romero, "Siting solar photovoltaics at airports," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2014.
- [4] M. Jiang *dkk.*, "National level assessment of using existing airport infrastructures for photovoltaic deployment," *Appl. Energy*, vol. 298, hlm. 117195, 2021.
- [5] S. Sreenath, K. Sudhakar, dan A. Yusop, "Solar photovoltaics in airport: Risk assessment and mitigation strategies," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 84, hlm. 106418, 2020.
- [6] I. A. Setiawan, I. S. Kumara, dan I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1, 2014.
- [7] K. V. Kumara, I. N. S. Kumara, dan W. G. Ariastina, "Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggaran Bali," *J. Spektrum*, vol. 5, no. 2, hlm. 26–35, 2018.
- [8] L. ARISPUTRANTO, "Pengembangan Terminal Dan Runway Bandar Udara Internasional Tjilik Riwut Di Palangkaraya," 2011.
- [9] S. Sreenath, K. Sudhakar, dan A. Yusop, "SWOT analysis of solar PV systems in airport environment 1," 2019.
- [10] KEMENHUB, "Daftar Bandar Udara di Indonesia." <http://hubud.dephub.go.id/hubud/websit e/BandaraListing.php> (diakses 22 Januari 2022).
- [11] EBTKE, "Kolaborasi Pengembangan Energi Bersih Dukung Gerakan Sejuta Surya Atap dan Green Airport,"

Kolaborasi Pengembangan Energi Bersih Dukung Gerakan Sejuta Surya Atap dan Green Airport, 25 September 2020.

<https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/09/26/2637/kolaborasi.pengembangan.energi.bersih.dukung.gerakan.sejuta.surya.atap.dan.green.airport?lang=id>
(diakses 10 Mei 2021).

- [12] D. ND, "Dickinson Theodore Roosevelt Regional Airport (DIK) Supports Clean Energy and Protects the Environment Through the National Adopt-A-Watt(TM) Program (NAAWP)," *CSRWire*, amerika, 11 Oktober 2007. Diakses: 22 Januari 2022. [Daring]. Tersedia pada: https://www.csrwire.com/press_releases/15660-dickinson-theodore-roosevelt-regional-airport-dik-supports-clean-energy-and-protects-the-environment-through-the-national-adopt-a-watt-tm-program-naawp
- [13] "Neuhardenberg Solar Power Plant," *POWER TECHNOLOGY*, 5 September 2013. Diakses: 22 Januari 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.power-technology.com/projects/neuhardenberg-solar-power-plant/>