

PEMANFAATAN POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA UNTUK Mendukung KETAHANAN ENERGI

UTILIZING THE POTENTIAL OF SOLAR POWER GENERATION IN SOEKARNO-HATTA INTERNATIONAL AIRPORT TO SUPPORT ENERGY SECURITY

Mochamad Fatchur Rozi¹, Nugroho Adi Sasongko², Yanif Dwi Kuntjoro³

Universitas Pertahanan

(mochamadfatchurrozi@gmail.com, nugroho.adi.s@gmail.com, yanif_dk@yahoo.com)

Abstrak – Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, khususnya *Air Traffic Control (ATC)*, sangat membutuhkan ketersediaan (*availability*) suplai listrik, kemudahan akses (*accessibility*) serta bersifat kontinu (*sustainability*). Kebutuhan energi listrik Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta disuplai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai sumber listrik utama dan generator diesel sebagai sumber listrik cadangan. Penggunaan generator diesel sebagai sumber listrik cadangan dinilai relative lebih mahal akibat konsumsi bahan bakar dalam jumlah yang banyak. Hal tersebut menjadi salah satu alasan untuk menerapkan sumber energi alternatif seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis pemanfaatan potensi PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dalam mendukung ketahanan energi. Penelitian ini adalah penelitian kualitatif dengan desain deskriptif. Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh melalui kegiatan wawancara, observasi, dan dokumentasi. Data tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa potensi PLTS di Terminal 1 sebesar 888 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 2.690 buah (330 Wp), dan berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 5.1 GWh/tahun. Potensi PLTS di Terminal 2 sebesar 1.113 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 3.372 buah, dan berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 6,4 GWh/tahun. Potensi PLTS di Terminal 3 sebesar 7.031 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 21.306 buah, dan berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 40.2 GWh/tahun (asumsi jam efektif operasional PLTS 4 jam). Potensi ini bisa dimanfaatkan dengan optimal sebagai sumber energi alternatif dan berdasarkan konsep 4A + 1S potensi ini mampu untuk mendukung ketahanan energi, khususnya di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Berdasarkan hasil tersebut, peneliti merekomendasikan kepada PT. Angkasa Pura II untuk memanfaatkan potensi PLTS guna mendukung ketahanan energi di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.

Kata Kunci: Ketahanan Energi, Konsep 4A + 1S, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Sumber Energi Alternatif, Suplai Energi Listrik.

Abstract – Soekarno-Hatta International Airport, especially *Air Traffic Control (ATC)*, heavily requires the *availability, accessibility and sustainability of electricity supply*. The electricity needs of Soekarno-Hatta International Airport are supplied by the State Electricity Company (PLN) as the main power source and diesel generators as backup power sources. The use of diesel generators as a backup power source is considered relatively more expensive due to the high fuel consumption. This is one of the reasons for implementing alternative energy sources such as Solar Power Generation (PLTS) at

¹ Program Studi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan

² Program Studi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan

³ Program Studi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan

Soekarno-Hatta International Airport. This research was conducted to analyze the potential utilization of PLTS at Soekarno-Hatta International Airport in supporting energy security. This research is a qualitative research with a descriptive design. The data used in this study were obtained through interviews, observation and documentation. Furthermore, the data were analyzed descriptively. The results revealed that the potential of PLTS in Terminal 1 is 888 kWp with a total of 2,690 solar modules (330 Wp), and potentially generate electrical energy is 5.1 GWh/year. The potential of PLTS in Terminal 2 is 1,113 kWp with a total of 3,372 solar modules, and potentially generate electrical energy is 6.4 GWh/year. The potential of PLTS in Terminal 3 is 7,031 kWp with a total of 21,306 solar modules, and potentially generate electrical energy is 40.2 GWh/year (assuming the effective hours of PLTS operating 4 hours). This potential can be utilized optimally as an alternative energy source and based on the concept of 4A + 1S this potential is able to support energy security, especially at Soekarno-Hatta International Airport. Based on these results, researchers recommend to PT. Angkasa Pura II might be utilize the potential of PLTS to support energy security at Soekarno-Hatta International Airport.

Keywords: 4A + 1S Concept, Alternative Energy Sources, Electric Energy Supply, Energy Security, Solar Power Generation.

Pendahuluan

Amat dalam Pasal 33 UUD RI 1945, menyatakan bahwa sumber daya energi merupakan kekayaan alam yang dikuasai negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.⁴ Oleh karena itu, perlu diupayakan pengelolaan energi yang meliputi penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaan energi yang harus dilaksanakan secara berkeadilan, berkelanjutan, rasional, optimal, dan terpadu guna mewujudkan ketahanan energi nasional.

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), ketahanan energi adalah suatu kondisi terjaminnya ketersediaan energi dan akses

masyarakat terhadap energi pada harga yang terjangkau dalam jangka panjang dengan tetap memperhatikan perlindungan terhadap lingkungan hidup.⁵ Ketahanan energi di Indonesia berlandaskan pada konsep 4A + 1S. Istilah tersebut dijabarkan menjadi *availability* (ketersediaan), *accessibility* (akses terhadap sumber energi yang tersedia), *affordability* (daya beli pengguna atas energi yang tersedia), *acceptability* (keberterimaan terhadap suatu jenis energi) dan diharapkan dari keempat indikator tersebut mampu bersifat *sustainability* (berkelanjutan).

Salah satu energi yang berperan penting dalam kehidupan manusia adalah energi listrik. Listrik berperan penting

⁴ Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 Pasal 33 Ayat (3) tentang Pemanfaatan Sumber Daya Alam

⁵ Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN)

dalam kegiatan produksi untuk memfasilitasi pembangunan sektor industri pengolahan, transportasi, pertanian, pertambangan, pendidikan, dan kesehatan. Selain itu listrik juga berperan dalam memenuhi kebutuhan sosial masyarakat sehari-hari.⁶ Dalam beberapa studi menyatakan bahwa kelistrikan merupakan basis untuk mencapai tujuan pembangunan, seperti meningkatkan pendapatan nasional, menciptakan lapangan kerja, mengubah struktur ekonomi, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.⁷ Oleh karena itu, semakin tinggi ketersediaan dan aksesibilitas listrik di sebuah negara, semakin tinggi kualitas hidup, pertumbuhan ekonomi, dan pertumbuhan sosial di negara tersebut.

Sebagai salah satu sektor transportasi, Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dilengkapi beberapa fasilitas, seperti tiga buah terminal penumpang, gedung perkantoran untuk perusahaan-perusahaan penerbangan, kereta api bandara atau *Automated People-Mover System* (APMS), serta gedung kargo untuk angkutan barang. Selain itu, juga dilengkapi dengan fasilitas

ATC (*Air Traffic Control*) atau alat bantu navigasi udara, dan telekomunikasi penerbangan, serta teknologi canggih lainnya dalam operasional penerbangannya. Semua sarana prasarana tersebut sangat membutuhkan ketersediaan (*availability*) suplai listrik yang andal, kemudahan akses (*accessibility*) serta bersifat kontinu (*sustainability*).

Dari semua fasilitas yang ada, fasilitas yang mejadi prioritas utama adalah ATC. ATC sebagai alat bantu navigasi udara harus beroperasi selama 24 jam setiap harinya. Dampak yang ditimbulkan apabila terjadi gangguan pada fasilitas ATC yaitu kacaunya lalu lintas penerbangan, kecelakaan pesawat terbang, dan bahaya penerbangan lainnya yang dapat mengancam keselamatan penumpang. Oleh karena itu, fasilitas tersebut harus didukung oleh suplai listrik selama 24 jam juga.

Gangguan suplai listrik PLN pada Minggu, 4 Agustus 2019 menyebabkan *black out* di wilayah Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi (Jabodetabek). Menurut PLT Dirut PLN, Sripeni Inten, *black out* terjadi akibat adanya gangguan

⁶ Latif Adam, "Dinamika Sektor Kelistrikan Di Indonesia: Kebutuhan Dan Performa Penyediaan", *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*, Vol. 24 No. 1, 2016, hlm. 29-41.

⁷ Latif Adam, "The Roles and Problems of Infrastructure in Indonesia", *Economics and Finance in Indonesia*, Vol. 60 No. 1, 2012. hlm. 105-126.

pada transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV di Ungaran-Pemalang mulai pukul 11.45 WIB. Kejadian tersebut menyebabkan jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Depok-Tasikmalaya mengalami gangguan karena tegangan yang tidak stabil. Pada pukul 11.48 WIB baru terjadi *black out* pada jaringan di Jawa Barat, DKI Jakarta dan Banten yang berdampak pada aliran listrik di sejumlah gardu induk.⁸

Adanya gangguan tersebut, operasional Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta tetap berjalan seperti biasanya karena terdapat genset yang mampu menyuplai semua kebutuhan listrik di bandar udara. Genset tersebut dipergunakan lebih kurang selama 7 jam, yang dihitung dari mulai *black out* terjadi pada pukul 11.48 WIB sampai aliran listrik masuk bandar udara pukul 18.45 WIB. Bandar udara menjadi prioritas utama PLN dalam suplai listrik, sehingga kelistrikan bandar udara pulih lebih awal dari pelanggan lainnya.

Penggunaan genset sebagai sumber daya cadangan dinilai cukup

mahal akibat konsumsi bahan bakar dalam jumlah banyak, terlebih lagi kapasitas genset yang ada di bandar udara sangat besar. Oleh karena itu, dibutuhkan kombinasi pembangkit listrik lain untuk mendukung keandalan suplai listrik dan mampu mengurangi jumlah pengeluaran biaya tarif listrik bulanan PLN, serta biaya bahan bakar dari genset. Pembangkit listrik yang paling berpotensi untuk diterapkan adalah PLTS. Hal ini mengingat terdapat lahan yang cukup luas di Bandar udara yang bisa dimanfaatkan dan tentunya pada lahan yang tidak mengganggu penerbangan.

Pemanfaatan PLTS merupakan salah satu cara untuk mengurangi biaya operasional bandar udara. Selain itu, PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan gas rumah kaca yang dihasilkan lebih sedikit, sehingga tidak terlalu berkontribusi terhadap perubahan iklim.⁹ Namun, pemasangan PLTS di bandar udara ini terdapat masalah terkait keamanan, yaitu (1) reflektifitas dan silau akibat pantulan dari panel surya, (2) gangguan pada radar atau alat bantu

⁸ Jpnn.com, “PLN Ungkap Kronologi Listrik Padam di Jabodetabek, Banten, dan Jabar”, dalam <https://www.jpnn.com/news/pln-ungkap-kronologi-listrik-padam-di-jabodetabek-banten-dan-jabar>, 4 Agustus 2019, diakses pada 6 Februari 2020.

⁹ J.A. Plante, S.B. Barrett, P.M. De Vita & R.L. Miller, Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports, (US: Federal Aviation Administration, Department of Transportation, 2010), hlm.15.

navigasi (*navigation aids*), dan (3) penetrasi fisik wilayah udara.¹⁰ Reflektifitas dalam konteks ini adalah kemampuan permukaan panel surya untuk memantulkan cahaya yang menyebabkan silau dan mengganggu pandangan pilot.¹¹ Oleh karena itu, dalam merancang instalasi panel surya di bandar udara harus mempertimbangkan pendekatan pilot dan menjamin tidak ada instalasi panel yang mampu memberikan efek silau pada pilot.

Berdasarkan uraian tersebut, maka peneliti telah melakukan penelitian tentang potensi PLTS di Bandar udara Internasional Soekarno-Hatta dalam mendukung ketahanan energi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi PLTS di Bandar udara Internasional Soekarno-Hatta. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, baik bagi pemerintah, PT. Angkasa Pura, masyarakat hingga para akademisi maupun peneliti yang tertarik untuk melaksanakan penelitian terkait

penerapan PLTS di bandar udara Indonesia.

Metode Penelitian

Desain penelitian terdiri dari tiga pendekatan, yaitu penelitian kualitatif, penelitian kuantitatif, dan penelitian campuran.¹² Pada hakikatnya tiga pendekatan ini tidaklah terpisah satu sama lain seperti ketika pertama kali muncul. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode kualitatif dengan menggunakan kondisi alamiah suatu obyek.¹³ Metode yang digunakan dalam kualitatif ini adalah metode deskriptif. Dalam metode ini, peneliti mendeskripsikan kegiatan penelitian yang dilakukan pada obyek yang telah ditentukan. Penelitian dengan metode deskriptif, dilakukan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diteliti. Pada akhirnya metode penelitian kualitatif menghasilkan suatu laporan yang menggambarkan situasi, lingkungan, dan

¹⁰ Federal Aviation Administration, Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports, (Washington DC: Federal Aviation Administration, 2018), hlm.38.

¹¹ Anurag Anurag, Jiemin Zhang, Jephias Gwamuri & Joshua M. Pearce, "General Design Procedures for Airport-Based Solar Photovoltaic Systems", *Energies*. Vol. 10, No. 1194, 2017, hlm.1-19.

¹² John W. Creswell, *Research Design: Pendekatan Metode Kualitatif, Kuantitatif dan Campuran* (Edisi Keempat), (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2016), hlm.98.

¹³ Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, (Bandung: Alfabeta, 2017), hlm.102.

pengalaman subyek penelitian secara luas dan mendalam.¹⁴

Proses pengambilan data pada penelitian ini menggunakan metode observasi, wawancara, dan dokumentasi. Observasi dalam penelitian ini dilakukan secara tidak langsung melalui data ilmiah yang diperoleh dari pusat geografis dan narasumber yang terkait dengan penelitian. Wawancara pada penelitian ini dilakukan kepada narasumber terkait topik penelitian yaitu analisis potensi PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Sedangkan metode dokumentasi dilaksanakan melalui studi pustaka terhadap dokumen-dokumen yang terkait dengan kajian penerapan PLTS di bandar udara beserta kendalanya.

Selanjutnya data yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian keabsahan data menggunakan metode triangulasi sumber. Triangulasi sumber adalah teknik untuk menguji kredibilitas data menggunakan berbagai macam sumber. Uji kredibilitas data dilakukan dengan membandingkan hasil temuan melalui pengecekan referensi pendukung tentang teori yang digunakan dalam penelitian.¹⁵ Selanjutnya data hasil

penelitian tersebut dianalisis dengan menggunakan teknik analisis kualitatif dengan batuan persamaan matematis tanpa model untuk menghitung potensi PLTS yang ada di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.

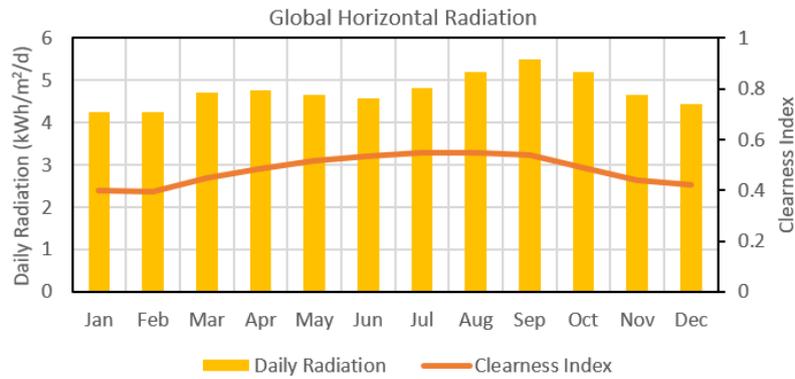
Hasil dan Pembahasan

Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta memiliki potensi yang bagus untuk pemanfaatan PLTS. Hal ini didukung dengan nilai radiasi matahari rata-rata harian sebesar 4,76 kWh/m²/hari, dengan radiasi matahari terbesar 5,50 kWh/m²/hari dan radiasi matahari terendah 4,24 kWh/m²/hari.

Gambar 1 menunjukkan radiasi matahari harian di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Data tersebut diambil dari *database* NASA SMSE (*Surface Meteorology and Solar Energy*) dan *database* BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) dengan menggunakan letak koordinat Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, Latitude: -6,125556; Longitude:

¹⁴ J.R. Raco, *Metode Penelitian Kualitatif jenis, Karakteristik, dan Keunggulan*, (Jakarta: Grasindo, 2010), hlm. 20.

¹⁵ Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, (Bandung: Alfabeta, 2017), hlm.136.



Gambar 1. Radiasi Matahari di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta

Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2019



Gambar 2. Desain PLTS Rooftop Terminal 1

Sumber: PT EMI, 2019

106.655830; dengan Time Zone (GMT +07.00).¹⁶

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT Energy Management Indonesia (Persero) (PT EMI), perencanaan atau desain PLTS yang ada di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta terletak di atap gedung Terminal 1, Terminal 2, dan Terminal 3.¹⁷ Data yang diperoleh adalah data kapasitas PLTS beserta jumlah panel surya yang mampu dipasang pada masing-masing atap gedung Terminal. Data tersebut kemudian diolah kembali beserta data dari *database* NASA dan

BMKG untuk menghitung total kapasitas PLTS yang mampu terpasang di masing-masing atap gedung terminal. Pada penelitian ini kapasitas panel surya yang digunakan adalah 330 Wp/panel.

1. Potensi PLTS di Terminal 1

Pada Terminal 1 terdapat 4 bagian yang memiliki potensi untuk dipasang PLTS *rooftop*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Uraian perhitungan potensi PLTS di Terminal 1 sebagai berikut:

- a. Bagian 1 (Luas Area 2.521,26 m² / 78,3 m x 32,2 m)

¹⁶ Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, "Data Onine-Pusat Database BMKG" dalam http://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim, diakses pada 2 Oktober 2019.

¹⁷ PT Energy Management Indonesia (Persero), Airport Energy Efficiency Improvement, (Jakarta: PT EMI, 2019), hlm.27.

Pada bagian 1 dengan luas area 2.521,26 m², mampu terpasang panel surya sejumlah 892 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$C_{total-PV}$ adalah kapasitas total PLTS, dan P_{PV} adalah kapasitas panel surya.

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 892 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 294.360 \text{ Wp}$$

$$\approx 294,36 \text{ kWp}$$

b. Bagian 2 (Luas Area 2.518,04 m² / 78,2 m x 32,2 m)

Pada bagian 2 dengan luas area 2.518,04 m², mampu terpasang panel surya sejumlah 822 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 822 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 271.260 \text{ Wp}$$

$$\approx 271,26 \text{ kWp}$$

c. Bagian 3 (Luas Area 2.459,92 m² / 77,6 m x 31,7 m)

Pada bagian 3 dengan luas area 2.459,92 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 818 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 818 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 269.940 \text{ Wp}$$

$$\approx 269,94 \text{ kWp}$$

d. Bagian 4 (Luas Area 629,76 m² / 51,2 m x 12,3 m)

Pada bagian 4 dengan luas area 629,76 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 158 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 158 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 52.140 \text{ Wp}$$

$$\approx 52,14 \text{ kWp}$$

Kapasitas total PLTS rooftop yang dapat terpasang di Terminal 1 adalah 887,7 kWp, dengan jumlah modul surya sebanyak 2690 buah. Energi yang dihasilkan dari modul surya pada Terminal 1 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_{el} = \frac{P_{PV} \times H_{avg} \times \eta_b \times \eta_{inv} \times T_{cf}}{I_0}$$

Dengan mengambil nilai rata-rata radiasi matahari harian di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta (H_{avg}) bulan Januari sebesar 4,25 kWh/m²/hari; radiasi standar (I_0) = 1 kW/m²; efisiensi baterai (η_b) = 0,95; efisiensi Inverter (η_{inv}) = 0,95 dan nilai (T_{cf}) = 1,1, maka untuk kapasitas PV 887,7 kWp menghasilkan energi listrik sebesar:

$$E_{el} = \frac{(887,7) \times (4,25) \times 0,95 \times 0,95 \times 1,1}{(1)}$$

$E_{el} = 3.745,37 \text{ kWh}$ (energi output PV untuk 1 jam)

Jumlah energi untuk 4 jam efektif PV per hari adalah:

$$E_{el} = 3.745,37 \text{ kWh} \times 4 \\ = 14.981,49 \text{ kWh/hari}$$

Sehingga, jumlah energi output modul surya 887,7 kWp bulan Januari adalah:

$$E_{el} = (14.981,49) \times 22 \\ = 329.592,92 \text{ kWh/bulan}$$

Catatan:

Jumlah hari efektif PV bulan Januari = jumlah hari - jumlah hari mendung.

Jumlah hari efektif PV bulan Januari = 31 - 9 hari mendung = 22 hari

Hasil perhitungan energi output untuk bulan Februari dan seterusnya disajikan dalam Tabel 1. Produksi energi per tahun yang dihasilkan oleh PV dengan kapasitas 887,7 kWp adalah sebesar 5.069.489,79 kWh, dengan persentase penyinaran matahari efektif selama setahun adalah 82,2 % atau sebanyak 300 hari efektif dari 365 hari.

Tabel 1. Potensi PLTS di Terminal 1

Bulan	Hari	Hari Mendung	Radiasi Matahari	
			Harian-Horizontal (kWh/m ² /d)	Energi Listrik (kWh/bulan)
Januari	31	9	4,25	329.592,80
Februari	28	9	4,24	283.978,57
Maret	31	9	4,72	366.041,89
April	30	7	4,76	385.923,21
Mei	31	6	4,67	411.550,37
Juni	30	3	4,58	435.908,51
Juli	31	0	4,82	526.713,97
Agustus	31	0	5,21	569.331,91
September	30	3	5,50	523.470,92
Oktober	31	3	5,20	513.248,26
November	30	7	4,67	378.626,34
Desember	31	9	4,45	345.103,05
Jumlah	365	65		5.069.489,79
Rata-rata kWh	4,76	422.457,48		

Sumber: PT EMI, 2019



Gambar 3. Desain PLTS Rooftop Terminal 2
Sumber: PT EMI, 2019

2. Potensi PLTS di Terminal 2

Pada Terminal 2 terdapat 3 bagian yang memiliki potensi untuk dipasang PLTS rooftop, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Uraian perhitungan potensi PLTS di Terminal 2 sebagai berikut:

- a. Bagian 1 (Luas Area 4.238,46 m² / 150,3 m x 28,2 m)

Pada bagian 1 dengan luas area 4.238,46 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 1000 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 1000 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 330.000 \text{ Wp}$$

$$\approx 330 \text{ kWp}$$

- b. Bagian 2 (Luasan Area 4.879,2 m² / 171,2 m x 28,5 m)

Pada bagian 2 dengan luas area 4.879,2 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 1.342 buah. Kapasitas

panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 1.342 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 442.860 \text{ Wp}$$

$$\approx 442,86 \text{ kWp}$$

- c. Bagian 3 (Luas area 4.872,96 m² / 169,3 m x 28,8 m)

Pada bagian 3 dengan luas area 4.872,96 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 1.030 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 1.030 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 339.900 \text{ Wp}$$

$$\approx 339,9 \text{ kWp}$$

Kapasitas total PLTS rooftop yang dapat terpasang di Terminal 2 adalah 1.112,76 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 3.372 buah. Energi yang dihasilkan dari modul surya pada Terminal 2 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_{el} = \frac{P_{PV} \times H_{avg} \times \eta_b \times \eta_{inv} \times T_{cf}}{I_0}$$

Dengan mengambil nilai rata-rata radiasi matahari harian di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta (H_{avg}) bulan Januari sebesar 4,25 kWh/m²/hari; radiasi standar (I_0) = 1 kW/m²; efisiensi baterai (η_b) = 0,95; efisiensi Inverter (η_{inv}) = 0,95 dan nilai (T_{cf}) = 1,1, maka untuk kapasitas PV 1.112,76 kWp menghasilkan energi listrik sebesar:

$$E_{el} = \frac{(1.112,76) \times (4,25) \times 0,95 \times 0,95 \times 1,1}{(1)}$$

$E_{el} = 4.694,943 \text{ kWh}$ (energi output PV untuk 1 jam)

Jumlah energi untuk 4 jam efektif PV per hari adalah:

$$E_{el} = 4.694,943 \text{ kWh} \times 4 \\ = 18.779,77 \text{ kWh/hari}$$

Sehingga, jumlah energi output modul surya 1.112,76 kWp bulan Januari adalah:

$$E_{el} = (18.779,77) \times 22 \\ = 413.154,99 \text{ kWh/bulan}$$

Hasil perhitungan energi output untuk bulan Februari dan seterusnya disajikan dalam Tabel 2. Produksi energi per tahun yang dihasilkan oleh PV dengan kapasitas 1.112,76 kWp adalah sebesar 6.354.765,64 kWh.

Tabel 2. Potensi PLTS di Terminal 2

Bulan	Hari	Hari Mendung	Radiasi Matahari Harian-Horizontal (kWh/m ² /d)	Energi Listrik (kWh/bulan)
Januari	31	9	4,25	413.154,99
Februari	28	9	4,24	355.976,11
Maret	31	9	4,72	458.845,07
April	30	7	4,76	483.766,94
Mei	31	6	4,67	515.891,39
Juni	30	3	4,58	546.425,09
Juli	31	0	4,82	660.252,61
Agustus	31	0	5,21	713.675,54
September	30	3	5,50	656.187,34
Oktober	31	3	5,20	643.372,91
November	30	7	4,67	474.620,08
Desember	31	9	4,45	432.597,58
Jumlah	365	65		6.354.765,6
Rata-rata kWh			4,76	529.563,8

Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2019



Gambar 4. Desain PLTS Rooftop Terminal 3
 Sumber: PT EMI, 2019

3. Potensi PLTS di Terminal 3

Pada Terminal 3 terdapat 3 tempat yang memiliki potensi untuk dipasang PLTS rooftop, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Uraian perhitungan potensi PLTS di Terminal 3 sebagai berikut:

- a. Bagian 1 (Luas Area 34.683,99 m² / 516,9 m x 67,1 m)

Pada bagian 1 dengan luas area 34.683,99 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 13.808 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 13.808 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 4.556.640 \text{ Wp}$$

$$\approx 4.556,64 \text{ kWp}$$

- b. Bagian 2 (Luas Area 11.262,68 m² / 157,3 m x 71,6 m)

Pada bagian 2 dengan luas area 11.262,68 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 3.906 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 3.906 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 1.288.980 \text{ Wp}$$

$$\approx 1.288,98 \text{ kWp}$$

- c. Bagian 3 Luas Area 11.491,32 m² / 157,2 m x 73,1 m)

Pada bagian 3 dengan luas area 11.491,32 m², mampu terpasang modul surya sejumlah 3.592 buah. Kapasitas panel surya yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$C_{total-PV} = \text{Jumlah panel} \times P_{PV}$$

$$C_{total-PV} = 3.592 \times 330 \text{ Wp}$$

$$C_{total-PV} = 1.185.360 \text{ Wp}$$

$$\approx 1.185,36 \text{ kWp}$$

Kapasitas total PLTS rooftop yang dapat terpasang di Terminal 3 adalah 7.030,98 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 21.306 buah. Energi yang dihasilkan dari modul surya pada Terminal 3 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_{el} = \frac{P_{PV} \times H_{avg} \times \eta_b \times \eta_{inv} \times T_{cf}}{I_0}$$

Dengan mengambil nilai rata-rata radiasi matahari harian di Bandar Udara

Internasional Soekarno-Hatta (H_{avg}) bulan Januari sebesar 4,25 kWh/m²/hari; radiasi standar (I_0) = 1 kW/m²; efisiensi baterai (η_b) = 0,95; efisiensi Inverter (η_{inv}) = 0,95 dan nilai (T_{cf}) = 1,1, maka untuk kapasitas PV 7.030,98 kWp menghasilkan energi listrik sebesar:

$$E_{el} = \frac{(7.030,98) \times (4,25) \times 0,95 \times 0,95 \times 1,1}{(1)}$$

$E_{el} = 29.665,02 \text{ kWh}$ (energi output PV untuk 1 jam)

Jumlah energi untuk 4 jam efektif PV per hari adalah:

$$E_{el} = 29.665,02 \times 4 \\ = 118.660,09 \text{ kWh/hari}$$

Sehingga, jumlah energi output modul surya 7.030,98 kWp bulan Januari adalah:

$$E_{el} = (118.660,09) \times 22 \\ = 2.610.522,02 \text{ kWh/bulan}$$

Hasil perhitungan energi output untuk bulan Februari dan seterusnya disajikan dalam Tabel 3. Produksi energi per tahun yang dihasilkan oleh PV dengan kapasitas 7.030,98 kWp adalah sebesar 40.152.620,63 kWh.

Tabel 3. Potensi PLTS di Terminal 3

Bulan	Hari	Hari Mendung	Radiasi Matahari Harian-Horizontal (kWh/m ² /d)	Energi Listrik (kWh/bulan)
Januari	31	9	4,25	2.610.522,02
Februari	28	9	4,24	2.249.236,94
Maret	31	9	4,72	2.899.215,04
April	30	7	4,76	3.056.683,96
Mei	31	6	4,67	3.259.662,52
Juni	30	3	4,58	3.452.589,87
Juli	31	0	4,82	4.171.809,62
Agustus	31	0	5,21	4.509.362,69
September	30	3	5,50	4.146.123,20
Oktober	31	3	5,20	4.065.155,14
November	30	7	4,67	2.998.889,52
Desember	31	9	4,45	2.733.370,11
Jumlah	365	65		40.152.620,6
Rata-rata kWh			4,76	3.346.051,7

Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2019

Tabel 4. Potensi PLTS di Terminal 1, 2, dan 3

Bulan	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3
	kWh/bulan		
Januari	329.592,80	413.154,99	2.610.522,02
Februari	283.978,57	355.976,11	2.249.236,94
Maret	366.041,89	458.845,07	2.899.215,04
April	385.923,21	483.766,94	3.056.683,96
Mei	411.550,37	515.891,39	3.259.662,52
Juni	435.908,51	546.425,09	3.452.589,87
Juli	526.713,97	660.252,61	4.171.809,62
Agustus	569.331,91	713.675,54	4.509.362,69
September	523.470,92	656.187,34	4.146.123,20

Oktober	513.248,26	643.372,91	4.065.155,14
November	378.626,34	474.620,08	2.998.889,52
Desember	345.103,05	432.597,58	2.733.370,11
Jumlah kWh/tahun	5069.489,79	6.354.765,64	40.152.620,63
Jumlah Keseluruhan (kWh/tahun)			51.576.876,07

Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2019

Berdasarkan hasil perhitungan potensi PLTS rooftop pada masing-masing Gedung Terminal 1, 2, dan 3, dapat disimpulkan bahwa potensi PLTS rooftop di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta sebesar 9.031,44 kWp (9,031 MWp) dengan energi rata-rata yang dihasilkan sebesar 152.742,24 kWh/hari (152,74 MWh/hari). Hasil energi yang dihasilkan setiap di Terminal Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dirangkum dalam Tabel 4.

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), ketahanan energi adalah suatu kondisi terjaminnya ketersediaan energi dan akses masyarakat terhadap energi pada harga yang terjangkau dalam jangka Panjang dengan tetap memperhatikan perlindungan terhadap lingkungan hidup.¹⁸ Ketahanan energi Indonesia

dipengaruhi oleh empat aspek (4) yaitu, *Availability* (ketersediaan), *Affordability* (keterjangkauan), *Accessibility* (kemampuan untuk mengakses energi), dan *Acceptability* (penerimaan masyarakat).¹⁹ Menurut Yusgiantoro (2016), selain 4A tersebut perlu adanya *Sustainability* (berkelanjutan) untuk menjamin kelangsungan suplai energi pada masa mendatang.²⁰

Salah satu sumber energi terbarukan yang menjadi prioritas sesuai dalam amanat PP No. 79 Tahun 2014 adalah energi surya, yang potensinya dapat dilihat di Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), halaman 77 tabel 44.²¹ Total potensi energi surya yang ada di Indonesia adalah 207.898 MWp. Penjelasan lebih lanjut terkait bauran energi di Indonesia dinyatakan bahwa pada tahun 2025 bauran EBT sebesar

¹⁸ Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN)

¹⁹ Sidik Boedoyo, "Analisis Ketahanan energi di Indonesia", Prosiding Seminar dan Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2012, hlm. 81-87

²⁰ Purnomo Yusgiantoro, "Optimalisasi Pengelolaan Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk Menjamin Ketahanan Energi Nasional",

dalam <http://www.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2016/02/Optimalisasi-Pengelolaan-energi-Baru-Terbarukan-untuk-Menjamin-Ketahanan-Energi-Nasional.pdf>, 2 Februari 2016, diakses pada 28 Januari 2020.

²¹ Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)

23%.²² Dari 23% bauran EBT tersebut energi surya (PLTS) berkontribusi sebesar 2.6 GW. Untuk mencapai bauran PLTS tersebut, Pemerintah membuat 3 langkah strategis, yaitu:

1. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan Pemerintah.
2. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% dari luas atap (*rooftop*) bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, apartemen, kompleks melalui Izin Mendirikan Bangunan (IMB).
3. Memfasilitasi pendirian industri hulu hilir PLTS.

Penempatan PLTS di *rooftop* atau atap bangunan dengan memanfaatkan luas atap dinilai sangat efektif karena dapat menerima pancaran sinar matahari secara langsung.²³ Potensi PLTS *rooftop* yang ada di Gedung Terminal 1, 2, dan 3 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta adalah sebesar 9.031,44 kWp (9,031 MWp). Potensi ini bisa dimanfaatkan

dengan optimal untuk diterapkan di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta sebagai sumber energi alternatif, dan tentunya harus memperhitungkan nilai keekonomiannya dan besar energi listrik yang dihasilkan. Penerapan PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan ketahanan energi yaitu pada aspek *availability* (ketersediaan), karena mampu mewujudkan kemandirian energi dan tidak bergantung pada sumber energi lain. Selain itu, ketersediaan PLTS memberikan jaminan akan ketersediaan energi untuk operasional di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.

Salah satu indikator dalam aspek *affordability* (keterjangkauan harga) adalah efisiensi energi. Pemanfaatan PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta secara teori sudah memberikan dampak positif terhadap efisiensi energi, yang dalam hal ini ditunjukkan dengan pengurangan biaya listrik ke PLN. Secara tidak langsung dengan pemanfaatan PLTS, pengelola Bandar Udara Internasional Soekarno-

²² Dewan Energi Nasional, Laporan Dewan Energi Nasional 2014, (Jakarta: DEN, 2014), hlm.5

²³ D.A. Panunggul, M.S. Boedoyo, & N.A. Sasongko, "Analisa Pemanfaatan Energi Terbarukan di Universitas Pertahanan sebagai

Pendukung Keamanan Pasokan Energi (studi Kasus: Energi Surya dan Angin)", *Jurnal Ketahanan Energi*, Vol. 4, No. 2, 2018, hlm. 75-91.



Gambar 5. Pemandangan dari Atas Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dengan Area Terlarang di Daerah Landasan Pacu
Sumber: Diolah oleh Peneliti, 2020

Hatta bisa mengalokasikan dana pembayaran listrik bulanan ke PLN untuk kebutuhan lain. Selain itu juga mendukung Kebijakan Energi Nasional yaitu untuk mencapai bauran energi baru terbarukan (EBT) pada tahun 2025 sebesar 23%.²⁴

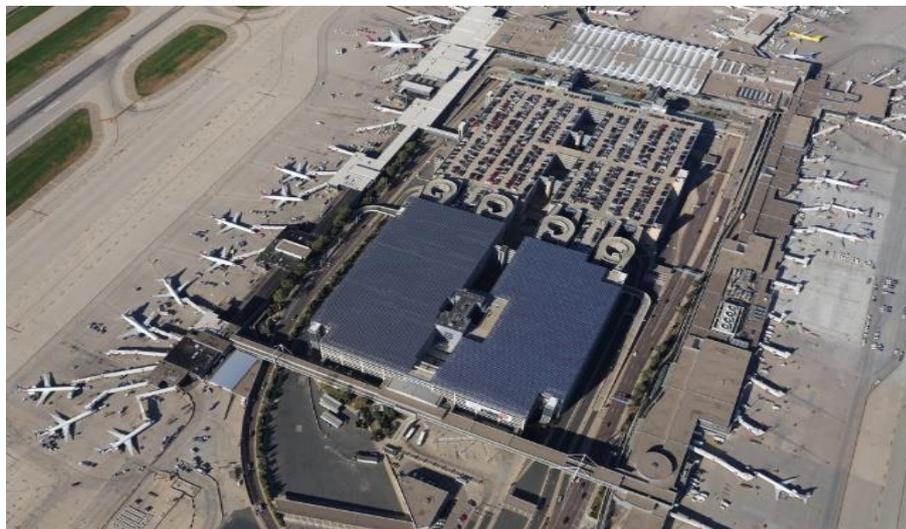
Penerapan PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta menjadikan sumber energi listrik yang dihasilkan mudah untuk diakses (*accessibility*). Tentunya dengan adanya PLTS ini Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta mendapatkan tambahan suplai energi di samping sumber energi utama dari PLN. Teknologi yang relatif sederhana dan informasi tentang sistem operasi yang mudah didapat menjadikan PLTS sebagai sumber energi alternatif utama dari pada jenis energi baru terbarukan lainnya.

PLTS merupakan salah satu pembangkit yang memiliki kriteria berkelanjutan (*sustainability*) karena sumber daya yang digunakan adalah energi matahari yang setiap harinya selalu ada dan tanpa harus mengeluarkan biaya untuk mendapatkan sumber daya tersebut. Selain itu, PLTS merupakan pembangkit yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang. Untuk menjaga sifat berkelanjutan tersebut harus dilakukan kegiatan perawatan dan penggantian komponen yang sudah rusak, sehingga mampu beroperasi lebih dari 25 tahun. Jadi, pemanfaatan yang tepat dan pengoperasian yang benar akan mampu mendukung ketahanan energi, khususnya di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.

²⁴ Dewan Energi Nasional, Laporan Dewan Energi Nasional 2014, (Jakarta: DEN, 2014), hlm.5

Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta mempunyai lahan yang luas, yaitu sebesar 1800 Ha. Dari segi luas lahan, bandar udara ini memiliki potensi yang besar untuk penerapan PLTS yang umumnya membutuhkan lahan yang luas. Namun, di area bandar udara terdapat peraturan tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan yang terkandung dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 14 Tahun 2010 untuk Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Salah satu isi peraturan tersebut yaitu mengatur tentang bangunan yang boleh dan tidak diperbolehkan berada di sekitar landasan pacu.²⁵ Ilustrasi dari peraturan tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

Faktor yang menjadi penghambat dari penerapan PLTS di bandar udara yaitu efek silau yang disebabkan oleh pantulan cahaya dari kaca panel surya. Hal ini dapat menyebabkan kebutaan sesaat (*flash blindness*) yang merupakan masalah keamanan bagi pilot.²⁶ Namun, bukan berarti dengan adanya permasalahan tersebut menjadikan PLTS tidak diterima di bandar udara. Sudah banyak bandar udara di dunia yang menerapkan PLTS sebagai pendukung sumber energi utama, seperti di Bandar Udara Internasional Incheon, Korea Selatan dan Bandar Udara Internasional Cochin, India. Bandar Udara Internasional Cochin, India merupakan bandar udara



Gambar 6. Penerapan PLTS Atap Parkiran di Bandar Udara Internasional Minneapolis-St Paul
Sumber: K. Pickerel, 2016

²⁵ Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 14 Tahun 2010 Tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan di Sekitar Bandar Udara Internasional Jakarta Soekarno-Hatta.

²⁶ Clifford K. Ho, Cheryl M. Ghanbari & Richard B. Diver, "Hazard Analyses of Glint and Glare from Concentrating Solar Power Plants", *SolarPACES*, 2009, hlm. 1-10.

pertama di dunia yang menggunakan PLTS sebagai sumber kelistrikkannya.²⁷ Di bandar udara tersebut terpasang 46.000 panel surya dengan luas $\pm 0,2 \text{ km}^2$. Pada siang hari, energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS disimpan dalam baterai dan energi listrik baru digunakan pada malam harinya.²⁸

Menurut Marsandy Hariyanto (hasil wawancara), solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi efek silau pada panel surya tersebut, yaitu dengan menggunakan kaca pelapis yang berwarna agak gelap. Hal ini mampu meredam pantulan cahaya dari panel surya. Selain itu, produk panel surya sendiri sudah diperhitungkan standar bahan yang akan digunakan, termasuk kaca pelapis yang digunakan. Menurut Rudy Setiawan A., penerapan PLTS di bandar udara bisa menggunakan jenis panel yang fleksibel. Jenis panel tersebut tidak akan memantulkan cahaya karena tidak menggunakan kaca pelapis. Namun,

kelemahan dari jenis panel ini adalah harganya mencapai 3x lipat dari jenis panel pada umumnya.

Solusi lain yang dapat diterapkan adalah dengan penggunaan lapisan anti-reflektif pada bagian luar permukaan kaca. Hal ini mampu untuk mengurangi pantulan cahaya dari panel surya. Penggunaan lapisan anti-reflektif ini mampu menurunkan reflektifitas hingga di bawah 10%. Selain itu juga membantu meningkatkan penyerapan sinar matahari.²⁹ Menurut Ho dan Ghanbari (2009), kaca pelindung yang memiliki tekstur kasar mampu untuk mengurangi reflektifitas panel surya.³⁰ Hal ini karena kaca yang memiliki tekstur kasar atau tidak rata akan memantulkan sinar yang bersifat menyebar. Salah satu contoh bandar udara yang menerapkan PLTS atap seperti di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta yaitu Bandar Udara Internasional Minneapolis-

²⁷ Alissa Greenberg, "This is where the World's First Entirely Solar-Powered Airport Has Been Unveiled", dalam <https://time.com/4002630/solar-power-india-airport-flight-green-technology-renewable-energy-environment/>, 19 Agustus 2015, diakses pada 11 Februari 2020.

²⁸ Seoin Baek, Heetae Kim & Hyun Joon Chang, "Optimal Hybrid Renewable Airport Power System: Empirical Study on Incheon International Airport, South Korea", *Sustainability*, Vol. 8, No. 562, 2016, hlm. 1-13.

²⁹ Mahmoud F. A. Mostafa, Shady H. E. Abdel Aleem & Ahmed M. Ibrahim, "Using Solar Photovoltaic at Egyptian Airports: Opportunities and Challenges", Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), IEEE, 2016, hlm. 1-8.

³⁰ Clifford K. Ho, Cheryl M. Ghanbari & Richard B. Diver, "Hazard Analyses of Glint and Glare from Concentrating Solar Power Plants", *SolarPACES*, 2009, hlm. 1-10.

St Paul, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

PLTS Atap di Bandara Internasional Minneapolis-St Paul terletak di atas dek dua struktur parkir dengan kapasitas 3 MW. Pembangunan PLTS ini dilaksanakan pada akhir tahun 2015. PLTS Atap ini menjadi pembangkit tenaga surya terbesar di Minnesota. PLTS Atap ini digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik lebih dari 7.700 lampu dengan teknologi LED dan juga sebagai penyuplai 18 stasiun pengisian kendaraan listrik.³¹

Kesimpulan dan Rekomendasi

Pada penelitian ini telah diuraikan terkait pemanfaatan potensi PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dalam mendukung ketahanan energi. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa: analisis potensi PLTS di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta telah dilaksanakan melalui proses: pengolahan data radiasi rata-rata harian di wilayah Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, pengolahan data potensi hari mendung atau hujan, dan perhitungan

potensi PLTS yang ditempatkan di atap Gedung Terminal 1, Terminal 2, dan Terminal 3 menggunakan persamaan matematis tanpa model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi PLTS di Terminal 1 sebesar 887,7 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 2690 buah, dan energi listrik yang dihasilkan sebesar 5.069.489,79 kWh/tahun. Potensi PLTS di Terminal 2 sebesar 1.112,76 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 3.372 buah, dan energi listrik yang dihasilkan sebesar 6.354.765,64 kWh/tahun. Potensi PLTS di Terminal 3 sebesar 7.030,98 kWp dengan jumlah modul surya sebanyak 21.306 buah, dan energi listrik yang dihasilkan sebesar 40.152.620,63 kWh/tahun (asumsi jam efektif operasional PLTS 4 jam). Potensi ini bisa dimanfaatkan dengan optimal sebagai sumber energi alternatif dan berdasarkan konsep 4A + 1S potensi ini mampu untuk mendukung ketahanan energi, khususnya di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, serta kesimpulan yang telah diuraikan di atas, maka peneliti merekomendasikan:

³¹ Kelly Pickerel, "7 Cool Solar Installations at U.S. Airport", dalam <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/03/7-cool-solar-installations-at-u-s-airports/>, 7 Maret 2016, diakses pada 9 Februari 2020.

6/03/7-cool-solar-installations-at-u-s-airports/., 7 Maret 2016, diakses pada 9 Februari 2020.

1. PT Angkasa Pura II direkomendasikan untuk memanfaatkan potensi PLTS yang ada guna mendukung ketahanan energi di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta.
2. Universitas Pertahanan selanjutnya direkomendasikan untuk menjalin kerjasama dengan PT Agkasa Pura II dalam hal saling bertukar ilmu dan gagasan dari hasil penelitian atau tesis yang sudah dikerjakan oleh mahasiswa, dengan harapan bisa untuk diterapkan di wilayah kinerja PT Angkasa Pura II.
3. Masyarakat selanjutnya direkomendasikan untuk memanfaatkan potensi PLTS sebagai sumber energi listrik yang mandiri sebagai bentuk dukungan masyarakat dalam program bauran energi baru terbarukan pada tahun 2025 sebesar 23%.
4. Peneliti selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait pemanfaatan PLTS untuk diterapkan di bandar udara, instansi pemerintah maupun swasta lainnya. Selain itu, direkomendasikan untuk mengkaji lebih lanjut terkait efek silau yang dipantulkan oleh panel surya dengan mengacu pada peraturan *Federal*

Aviation Administration. Jadi, dengan adanya kajian lebih lanjut tersebut akan diperoleh hasil penelitian yang dapat digunakan sebagai landasan untuk mengembangkan ilmu pertahanan dan ilmu ketahanan energi di Indonesia.

Daftar Pustaka

Buku

- Creswell, J.W. (2016). *Research Design: Pendekatan Metode Kualitatif, Kuantitatif dan Campuran (Edisi Keempat)*. Pustaka Pelajar.
- Dewan Energi Nasional. (2014). *Laporan Dewan Energi Nasional 2014*. DEN.
- Federal Aviation Administration. (2018). *Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports*. Federal Aviation Administration.
- Plante JA, Barrett SB, De Vita PM, Miller RL. (2010). *Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports*. Federal Aviation Administration.
- PT Energy Management Indonesia (Persero). (2019). *Airport Energy Efficiency Improvement*. PT EMI.
- Raco, J.R. (2010). *Metode Penelitian Kualitatif jenis, Karakteristik, dan Keunggulan*. Grasindo
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta

Jurnal

- Adam, L. (2012). *The Roles and Problems of Infrastructure in Indonesia*.

Economics and Finance in Indonesia. 60(1), 105-126.

Adam, L. (2016). Dinamika Sektor Kelistrikan Di Indonesia: Kebutuhan Dan Performa Penyediaan. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*. 24(1), 29-41.

Anurag, A., Zhang, J. Gwamuri, J. & Pearce, J.M. (2017). General Design Procedures for Airport-Based Solar Photovoltaic Systems. *Energies*, 10(1194), 1-19.

Baek, S., Kim, H., & Chang, H.J. (2016). Optimal Hybrid Renewable Airport Power System: Empirical Study on Incheon International Airport, South Korea. *Sustainability*. 8(562), 1-13.

Boedoyo, S. (2012). Analisis Ketahanan energi di Indonesia. *Prosiding Seminar dan Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia*. 81-87

Ho, C.K., Ghanbari, C.M. & Diver, R.B. (2009). Hazard Analyses of Glint and Glare from Concentrating Solar Power Plants. *SolarPACES*. 1-10.

Mostafa, M.F.A., Abdel, A.S.H. E., Ibrahim, A.M. (2016). Using Solar Photovoltaic at Egyptian Airports: Opportunities and Challenges. *Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), IEEE*. 1-8.

Panunggul, D.A., Boedoyo, M.S. & Sasongko, N.A. (2018). Analisa Pemanfaatan Energi Terbarukan di Universitas Pertahanan sebagai Pendukung Keamanan Pasokan Energi (studi Kasus: Energi Surya dan Angin). *Jurnal Ketahanan Energi*. 4(2), 75-91.

Peraturan

Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 Pasal 33 Ayat

(3) Tentang Pemanfaatan Sumber Daya Alam

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 14 Tahun 2010 Tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan di Sekitar Bandar Udara Internasional Jakarta Soekarno-Hatta.

Website

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019). *Data Online-Pusat Database BMKG*. Retrieved from http://dataonline.bmkg.go.id/data_klim pada 2 Oktober 2019.

Greenberg, A. (2015). *This is where the World's First Entirely Solar-Powered Airport Has Been Unveiled*. Retrieved from <https://time.com/4002630/solar-power-india-airport-flight-green-technology-renewable-energy-environment/> pada 11 Februari 2020.

Jpnn.com. (2019). *PLN Ungkap Kronologi Listrik Padam di Jabodetabek, Banten, dan Jabar*. Retrieved from <https://www.jpnn.com/news/pln-ungkap-kronologi-listrik-padam-di-jabodetabek-banten-dan-jabar> pada 6 Februari 2020.

Pickerel, K. (2016). *7 Cool Solar Installations at U.S. Airport*. Retrieved from <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/03/7-cool-solar-installations-at-u-s-airports/> pada 9 Februari 2020.

Yusgiantoro, P. (2016). *Optimalisasi Pengelolaan Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk Menjamin Ketahanan Energi Nasional*. Retrieved from <http://www.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2016/02/Optimalisasi-Pengelolaan-energi-Baru-Terbarukan-untuk-Menjamin-Ketahanan-Energi-Nasional.pdf> pada 28 Januari 2020.