

POTENSI BANGUNAN PARKIR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP

I Gde Ari Biantara¹, I Nyoman Satya Kumara², I. A. Dwi Giriantari³

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

^{2,3} Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Badung, Bali 80361

Email : aribiantara21@gmail.com

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan energi terbarukan yang merubah sinar matahari menjadi listrik. Namun pembangunan PLTS memerlukan lahan yang luas sehingga untuk daerah perkotaan tidak mudah mendapatkan lahan yang dibutuhkan. Salah satu solusi adalah memanfaatkan atap bangunan parkir sebagai PLTS atap. Energi yang dihasilkan PLTS atap gedung parkir dapat diekspor ke jaringan karena umumnya kebutuhan energi bangunan parkir tidak banyak. Paper ini membahas PLTS atap gedung parkir yang sudah dibangun di seluruh dunia. Didapat sebanyak 40 PLTS atap gedung parkir yang mulai dibangun dari tahun 2010 hingga 2022 dengan total kapasitas 207,49 MW. PLTS fasilitas parkir ini dibangun berupa PLTS atap gedung parkir, *carport*, dan kanopi parkir. Lembaga yang telah membangun PLTS di atas fasilitas parkirnya antara lain airport, bank, mall, pemerintah, perusahaan air, perusahaan daur ulang, perusahaan farmasi, perusahaan keuangan, perusahaan mobil, rumah sakit, sekolah, stadion dan universitas.

Kata kunci : Energi terbarukan, PLTS, PLTS atap, gedung parkir, *carport*, *car park*

ABSTRACT

Solar Power Plant (PLTS) is a renewable energy that converts sunlight into electricity. However, the construction of PLTS requires a large area of land so that for urban areas it is not easy to get the required land. One of solution to this problem is to use the roof of the parking building as a rooftop solar power plant, the energy produced by the rooftop solar power plant can be exported to the network because generally the energy demand for parking buildings is not much. This paper discusses PLTS on the roof of parking buildings that have been built all over the world. The results of a review were obtained as many as 40 PLTS on the roof of the parking building which were built from 2010 to 2022 with a total capacity of 207,49 MW. This PLTS parking facility was built in the form of PLTS on the roof of the parking building, carport and parking canopy. Institutions that have built PLTS above their parking facilities include airports, banks, malls, governments, water companies, recycling companies, pharmaceutical companies, financial companies, car companies, hospitals, schools, stadiums and universities.

Key Words : Renewable energy, rooftop solar power plant, parking building, *carport*, *carpark*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sebuah pembangkit yang mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik [1] [2]. Wilayah Indonesia terletak di daerah ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan, posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada

musim hujan [3]. Berdasarkan RUPTL PT. PLN (Persero) periode 2019 s.d 2028, wilayah Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 207.898 MW atau 4,80 kWh/m²/hari [4]. Keadaan tersebut tentu sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik mengingat beratnya permasalahan terkait dengan pembangkitan listrik berbahan bakar fosil.

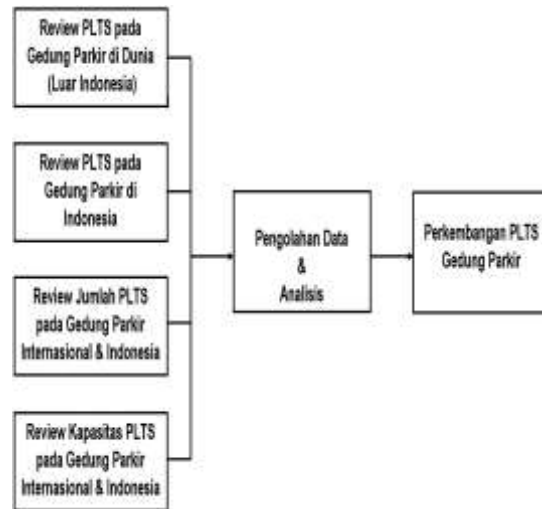
Pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan mengenai Energi baru Terbarukan (EBT), salah satu kebijakan pemerintah yang dikeluarkan adalah Peraturan Pemerintah (PP) nomor 79 tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional (KEN). Pada kebijakan itu dijelaskan bahwa untuk mencapai bauran energi yang optimal pemerintah menargetkan penggunaan energi baru dan terbarukan minimal 23 % sepanjang keekonomiannya terpenuhi pada tahun 2025 dan minimal 31 % pada tahun 2050 [5]. Namun berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Tahun 2019 s.d 2028, bauran energi dari energi terbarukan (EBT) sampai Agustus 2019 baru mencapai sekitar 14% [6].

Pada saat ini sudah cukup banyak PLTS yang dibangun di Indonesia, diantaranya yaitu PLTS 21 MW Likupang [7], PLTS 5 MW Kupang [8], PLTS 1 MW Bangli [9], PLTS 1 MW Labangka Sumbawa [10], PLTS 158 kW atap Kantor Gubernur Bali [11], PLTS 24 kW Indonesia Power Pesanggaran [12], PLTS 26,4 kW Microgrid Udayana [13], PLTS 52,14 kW Pompa Irigasi Sema Agung [14], dan lain-lain. Namun kedepan perlu dibangun lebih banyak PLTS agar target KEN dapat terealisasi, salah satu solusi agar perkembangan pembangunan PLTS berkembang pesat yakni dengan memanfaatkan bangunan parkir sebagai PLTS atap.

Penelitian ini mencoba meninjau potensi gedung parkir sebagai PLTS Atap. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu peneliti dalam memahami PLTS atap dan diharapkan dapat membantu masyarakat dalam melihat bagaimana gedung parkir memiliki potensi yang besar sebagai PLTS atap.

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari skripsi, jurnal, artikel, makalah ilmiah, website dan lain sebagainya yang berkaitan dengan potensi gedung parkir sebagai PLTS atap. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 : Skematik Penelitian






Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah meninjau PLTS atap pada gedung parkir yang ada di dunia. Tahapan kedua yaitu meninjau PLTS atap gedung parkir yang ada di Indonesia. Tahapan ketiga adalah meninjau jumlah PLTS atap pada gedung parkir internasional dan Indonesia. Tahapan keempat yakni meninjau kapasitas PLTS Atap pada gedung parkir internasional dan Indonesia. Dan tahapan kelima adalah melakukan pengolahan data dan analisis terhadap data yang sudah didapat.




3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh 40 gedung parkir yang terdapat diberbagai negara dan terdiri dari berbagai bentuk gedung parkir. Detail dari setiap gedung parkir akan dibahas di bawah ini.

3.1 PLTS Gedung Parkir di Luar Negeri





Terdapat berbagai golongan bentuk gedung parkir yang dimanfaatkan menjadi PLTS atap di beberapa negara. Mulai dari dengan gedung satu lantai, gedung bertingkat, dan konstruksi yang menyerupai kanopi. Review dari masing-masing gedung parkir akan dideskripsikan di bawah ini.







 <p>1. Dealer Mobil <i>Col Crawford Lifestyle Cars</i> [15]</p>	<p>Perusahaan dealer mobil <i>Col Crawford Lifestyle Cars</i> Sydney memiliki PLTS atap berkapasitas 100 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap mengurangi tagihan listrik lebih dari 60% dan menghemat 682.736 kWh/tahun. PLTS atap menggunakan panel surya SMA dan Data <i>Logger SMA Cluster Controller</i> sehingga memungkinkan mengontrol daya PLTS dari jarak jauh [15].</p>
 <p>2. PLTS parkir <i>Department Of Justice</i> [16]</p>	<p><i>Department Of Justice</i> Australia atau Departemen Kehakiman Australia memiliki PLTS atap yang memanfaatkan bangunan parkir mobil berbentuk kanopi berkapasitas 212 kW. PLTS atap menggunakan 488 panel surya dan pembangunan proyek ini memakan waktu selama 6 bulan [16].</p>
 <p>3. PLTS Parkir <i>Dunsborough Centrepoin S</i> [17]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Dunsborough Centrepoin S</i> Australia memiliki PLTS atap berkapasitas 440 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. Output PLTS atap tersebut hampir sepenuhnya memenuhi kebutuhan energi pada siang hari, sehingga dapat memberikan penghematan. Sistem PLTS atap ini diharapkan dapat mencapai <i>Discounted Payback Period</i> (DPP) pada tahun ke-7 [17].</p>
 <p>4. PLTS parkir <i>Flinders University</i> [18]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Flinders University</i> Australia membangun PLTS atap berkapasitas 1,8 MW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan 4.136 panel surya sehingga energi yang dihasilkan mencapai 20% kebutuhan energi universitas. Proyek ini memerlukan biaya sebesar \$4.895 juta yang diprediksi mampu mencapai <i>Discount Payback Period</i> (DPP) pada tahun ke-7 [18].</p>
 <p>5. PLTS parkir <i>Leichhardt marketplace</i> [19]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Leichhardt Marketplace</i> Australia memiliki PLTS atap berkapasitas 430 kW yang memanfaatkan 4 kanopi parkir mobil pada pusat perbelanjaan tersebut. PLTS atap menggunakan panel tipe <i>Duomax M-Plus DEG5 (II)</i> Trina Solar, output PLTS atap memenuhi kebutuhan beban puncak siang hari pusat perbelanjaan tersebut [19].</p>

 <p>6. PLTS parkir <i>Lend Lease Sunshine Plaza</i> [20]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Lend Lease Sunshine Plaza</i> Australia memiliki PLTS atap berkapasitas 1,1 MW yang memanfaatkan kanopi pada gedung parkir. PLTS atap menggunakan panel surya tipe <i>bifacial</i> sebanyak 2.710 panel surya, sehingga meningkatkan produksi energi sebanyak 30% dibanding dengan panel surya biasa [20].</p>
 <p>7. Bandara <i>Lend Lease Sydney Airport</i> [21]</p>	<p>Bandara <i>Sydney Airport</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 550 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil pada lantai 12 gedung parkir mobil. PLTS atap didesain dengan kualitas tinggi sehingga menghasilkan 835 MWh/tahun kemudian energi yang dihasilkan dapat digunakan pada lingkungan bandara [21].</p>
 <p>8. Gedung parkir <i>Monash University</i> [22]</p>	<p>Gedung Parkir <i>Monash University</i> Australia memiliki PLTS atap berkapasitas 741 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan panel tipe <i>Sunpower 935 x 390 W & 941 x 400 W</i>, menggunakan 8 inverter SMA dan menghasilkan energi sebesar 894.120 kWh/tahun [22].</p>
 <p>9. Tempat parkir <i>Sydney Market Limited</i> [23]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Sydney Markets Limited</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 911 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan 2.000 panel surya tipe <i>LG NeON 2</i>. PLTS atap memiliki masa operasi 25 tahun dan mendapatkan penghargaan Inovasi <i>Fotovoltaic 2015</i> pada acara industri intersolar di Jerman [23].</p>
 <p>10. Tempat parkir <i>Transgrid West Substation</i> [24]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Transgrid Sydney West Substation</i> Australia atau Gardu Induk <i>Transgrid Sydney Barat</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 45 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan 504 panel surya tipe <i>First Solar FS-390</i> dan dalam perancangannya dibantu oleh <i>Autonomous Energy</i> [24].</p>
 <p>11. Tempat parkir <i>University Southern Queensland</i> [25]</p>	<p>Tempat parkir <i>University of Southern Queensland (USQ)</i> atau Universitas Queensland memiliki PLTS atap berkapasitas 1,1 MW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap dilengkapi ruang khusus untuk menempatkan 19 inverter SMA 60 kW dan pencatatan data output PLTS atap terintegrasi langsung dengan situs USQ [25].</p>

 <p>12.Tempat parkir administrasi kota Wollongong [26]</p>	<p>Tempat parkir <i>Wollongong City Council's Administration Building</i> Australia atau gedung administrasi kota Wollongong memiliki PLTS atap berkapasitas 219,6 kWp yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menghasilkan 316 MWh/tahun dan energi yang dihasilkan akan digunakan langsung oleh gedung administrasi [26].</p>
 <p>13.Perusahaan pabrik mobil <i>Bentley Factory</i> [27]</p>	<p>Pabrik Mobil <i>Bentley Motors</i> Inggris memiliki PLTS atap berkapasitas 2,7 MW yang menggunakan 10.000 panel surya dengan memanfaatkan kanopi parkir mobil seluas 16.426 m². PLTS atap mengakomodasi seluruh konsumsi listrik Pabrik Mobil <i>Bentley Factory</i> dan mengurangi CO² hingga 3.300 ton/tahun [27].</p>
 <p>14.Perusahaan Air <i>Yarra Valley</i> [28]</p>	<p>Perusahaan Air <i>Yarra Valley Water</i> Inggris memiliki PLTS atap berkapasitas 324 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil berbentuk Y sehingga mendapat penyinaran yang baik. PLTS atap menggunakan 1.080 panel surya tipe <i>Jinko JKM300M-60</i> dan 5 inverter <i>SMA CORE1</i> yang ditempatkan pada ruangan khusus inverter [28].</p>
 <p>15.Tempat parkir <i>Garden City Mall</i> [29]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Garden City</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 858 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan 3.300 panel surya yang menghasilkan 1.256 MWh/tahun dan mengurangi CO² hingga 745 ton/tahun. PLTS atap bersifat <i>on grid</i>, sehingga dapat menghemat tagihan listrik <i>Garden City</i> [29].</p>
 <p>16.Tempat parkir <i>Weeze Airport</i> [30]</p>	<p>Tempat Parkir Bandara <i>Weeze</i> Jerman memiliki PLTS atap berkapasitas 18 MW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan 75.000 panel surya yang menghasilkan 19.654.013 kWh sedangkan konsumsi listrik <i>Weeze Airport</i> keseluruhan sebesar 5.845.921 kWh sehingga bandara menjadi netral CO² [30].</p>

 <p>17.Tempat parkir <i>Mall of The Emirates</i> [31]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Mall Of The Emirates</i> memiliki PLTS atap yang menggunakan 7.291 panel surya dengan memanfaatkan 1.068 kanopi parkir mobil seluas 11.996 m². PLTS atap. menghasilkan 3 GWh sehingga menghemat biaya energi sebesar \$382.000/tahun dan mengurangi 2.500 ton/tahun emisi CO² atau setara dengan mengurangi 480 mobil di jalan [31].</p>
 <p>18.Tempat parkir <i>Cronig's Market</i> [32]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Cronig's Market</i> USA memiliki PLTS atap berkapasitas 210 kW yang memanfaatkan dua kanopi paralel parkir mobil. PLTS atap menyediakan fasilitas stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU) bagi kendaraan listrik namun dikenakan biaya dalam penggunaan pengisian tersebut [32].</p>
 <p>19.Perusahaan Keuangan <i>Dow Jones and Company's</i> [33]</p>	<p>Perusahaan keuangan <i>Dow Jones and Company's</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 4,1 MW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap mengurangi 50% tagihan listrik perusahaan dan mengurangi 8,2 juta ton emisi CO² ke atmosfer [33].</p>
 <p>20.Gedung parkir <i>Fitzgerald Auto Mall</i> [34]</p>	<p>Gedung Parkir <i>Fitzgerald Auto Mall</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 890 kW yang menggunakan 2.475 panel tipe <i>SunPower</i> dengan memanfaatkan atap gedung parkir. PLTS atap mengurangi 83% tagihan listrik sehingga menghemat \$258.000/tahun dan memberikan keuntungan \$5,2 juta selama masa operasi PLTS atap yaitu 25 tahun [34].</p>
 <p>21.Tempat parkir <i>John F. Kennedy Airport</i> [35]</p>	<p>Tempat Parkir <i>JFK airport</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 12,3 MW yang memanfaatkan 6 baris kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan panel tipe <i>SunPower</i> dengan baterai 7.500 kWh/25.000 kWh yang akan meningkatkan dan memaksimalkan penghematan energi pada bandara JFK [35].</p>
 <p>22.Tempat parkir <i>Mount Diablo Unified School</i> [36]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Mount Diablo School</i> California memiliki PLTS atap berkapasitas 12,1 MW yang menggunakan panel tipe <i>SunPower</i> dengan memanfaatkan kanopi parkir mobil sekolah. Dengan daya yang dihasilkan PLTS atap, <i>Mount Diablo School</i> dapat mengurangi tagihan listrik sekolah [36].</p>

 <p>23. Tempat parkir <i>National Bank of Arizona</i> [37]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Bank Nasional Arizona</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 402,6 kW yang menggunakan 1.320 panel surya tipe <i>SunPower 305</i> dengan memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menghasilkan 580.000 kWh/tahun sehingga menghemat 25% tagihan listrik <i>Bank Nasional Arizona</i> [37].</p>
 <p>24. Tempat parkir <i>Porterville Unified School</i> [38]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Porterville Unified School</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 5 MW yang menggunakan 13.022 panel surya tipe <i>SunPower</i>. PLTS atap menghasilkan 8.917.864 kWh/tahun sehingga menghemat tagihan listrik <i>Porterville Unified School</i> sebesar \$1,2 juta/tahunnya [38].</p>
 <p>25. Tempat Parkir <i>San Benito High School District</i> [39]</p>	<p>Tempat Parkir <i>San Benito High School District</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 665,5 kW yang menggunakan 1.530 panel surya dengan memanfaatkan kanopi bangunan parkir. PLTS atap menghasilkan 1.169.208 kWh/tahun sehingga menghasilkan keuntungan sebesar \$9,5 juta selama masa operasi PLTS atap yaitu 30 tahun [39].</p>
 <p>26. Tempat Parkir <i>Southwest Bone and J I</i> [40]</p>	<p>Tempat Parkir <i>Southwest Bone and Joint Institute</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 121 kW yang menggunakan 70 panel surya tipe <i>SunPower 327-Watt</i> dengan memanfaatkan kanopi tempat parkir. PLTS atap menghemat 100% tagihan listrik SBJI sebesar \$26.338/tahun dan menghasilkan penghematan selama masa operasi PLTS atap yaitu \$762.284/25 tahun [40].</p>
 <p>27. Rumah sakit <i>Strictly Pediatrics</i> [41]</p>	<p>Rumah sakit <i>Strictly Pediatrics Texas</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 812.3 kW yang menggunakan 2.500 panel surya tipe <i>SunPower</i> dengan memanfaatkan atap gedung parkir. PLTS atap mengurangi 50% tagihan listrik sehingga menghemat biaya sebesar \$2,5 juta/25 tahun dan mengurangi 21.466 ton emisi CO² ke atmosfer [41].</p>
	<p>Tempat Parkir <i>Stonehill College</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 2,8 MW yang menggunakan 6.500 panel surya tipe <i>SunPower E-series</i> dengan memanfaatkan kanopi tempat parkir. PLTS atap menghasilkan 3,4 juta kWh/tahun sehingga menghemat tagihan listrik dan menghasilkan keuntungan \$1,8 juta selama</p>

<p>28. Tempat Parkir <i>Stonehill College</i> [42]</p>	<p>masa operasi PLTS atap yaitu 20 tahun [42].</p>
 <p>29. Stadion <i>The Fresno Grizzlies</i> [43]</p>	<p>Stadion <i>The Fresno Grizzlies</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 902,4 kW yang menggunakan 1.920 panel surya tipe <i>SunPower</i> dengan memanfaatkan kanopi atap parkir. PLTS atap menghasilkan 1,1 MWh/tahun dan mengurangi emisi CO² sebanyak 880 ton/tahunnya [43].</p>
 <p>30. Dealer Mobil <i>Tony Hawaii Automotive Group</i> [44]</p>	<p>Dealer Mobil <i>Tony Hawaii Automotive Group</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 890 kW menggunakan 2.472 panel surya dengan memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menghasilkan 1,4 MWh/tahun dan menghasilkan penghematan selama masa operasi PLTS atap sebesar \$11 juta [44].</p>
 <p>31. Rumah Sakit <i>Tucson's Radiology Ltd</i> [45]</p>	<p>Rumah Sakit <i>Tucson's Radiology Ltd</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 598,7 kW yang menggunakan panel dengan tipe <i>SunPower</i> dengan memanfaatkan 10 kanopi parkir mobil. PLTS atap menghemat \$169.255/tahunnya dan mengurangi 2,4 juta emisi CO² ke atmosfer [45].</p>
 <p>32. Perusahaan Daur Ulang <i>USA Hauling and R I</i> [46]</p>	<p>Perusahaan Daur Ulang <i>USA Hauling and Recycling Inc</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 743 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menghasilkan 779.289 kWh/tahun dan menghasilkan keuntungan selama masa operasi PLTS atap yakni 25 tahun sebesar \$2,1 juta [46].</p>
 <p>33. Tempat Parkir <i>West Valley College</i> [47]</p>	<p>Tempat Parkir <i>West Valley College California</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 7,7 MW yang menggunakan panel surya tipe <i>SunPower</i> dan memiliki baterai berkapasitas 3MW/6MWh dengan memanfaatkan kanopi tempat parkir. PLTS atap menghemat tagihan listrik sebesar \$88.000/tahun [47].</p>
 <p>34. Perusahaan Keuangan <i>Hongze Economic D</i> [48]</p>	<p>Perusahaan Keuangan <i>Hongze Economic Development China</i> memiliki PLTS atap berkapasitas 103 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. Dalam perancangannya <i>Hongze Economic Development</i> dibantu oleh <i>CHIKO Solar</i> dan pembangunannya memakan waktu satu bulan [48].</p>

 <p>35. Mall Lebanon Carport Solar [49]</p>	<p>Mall Lebanon carport solar memiliki PLTS atap berkapasitas 60 kW yang perancangannya dibantu oleh CHIKO Solar dengan memanfaatkan dua kanopi parkir . PLTS atap menggunakan sudut kemiringan panel surya sebesar 15° dan memiliki masa operasi selama 30 tahun [49].</p>
 <p>36. Pabrik Mobil Tata Motors [50]</p>	<p>Pabrik Mobil Tata Motors memiliki PLTS atap berkapasitas 6,2 MW yang mampu menghasilkan 86,4 kWh/tahun dengan memanfaatkan kanopi parkir pabrik mobil. Dalam pembangunan PLTS atap memerlukan waktu 9,5 bulan dan dapat mengurangi 7.000 ton emisi CO² dan 1,6 juta ton selama masa operasi [50].</p>

3.2 PLTS Gedung Parkir di Indonesia

Terdapat berbagai golongan bentuk gedung parkir yang dimanfaatkan menjadi

PLTS atap di Indonesia. Berikut merupakan review dari masing-masing gedung parkir akan dijelaskan di bawah ini.

 <p>37. Tempat Parkir Kementerian ESDM Provinsi Bali [51]</p>	<p>Tempat Parkir Kementerian ESDM Provinsi Bali memiliki PLTS atap berkapasitas 40 kW yang memanfaatkan kanopi parkir motor dan menggunakan 2 inverter yang diletakkan pada ruangan khusus. Daya PLTS atap digunakan pada siang hari oleh Kementerian ESDM Provinsi Bali [51].</p>
 <p>38. Tempat Parkir PT.Kalbe Farma, TBK [52]</p>	<p>Tempat Parkir PT.Kalbe Farma, TBK Cikarang memiliki PLTS atap berkapasitas 205 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. Dalam perancangan PLTS atap ini dibantu oleh ATW Solar dan merupakan PLTS carport terbesar di Indonesia sampai saat ini [52].</p>
 <p>39. Gedung Parkir Stadion Gelora Bung Karno [53]</p>	<p>Gedung Parkir Stadion Gelora Bung Karno memiliki PLTS atap berkapasitas 1 MW yang memanfaatkan atap gedung parkir stadion. Dalam pembangunannya terdapat 97 titik pemasangan panel surya dan setiap titik memiliki 15 frame panel surya yang disusun menjadi tiga baris. Proyek memerlukan biaya Rp40 miliar [53].</p>
	<p>Tempat Parkir Universitas Dinamika Surabaya memiliki PLTS atap berkapasitas 25,4 kW yang memanfaatkan kanopi parkir mobil. PLTS atap menggunakan sistem <i>on grid</i>, sehingga tersambung jaringan tetapi</p>

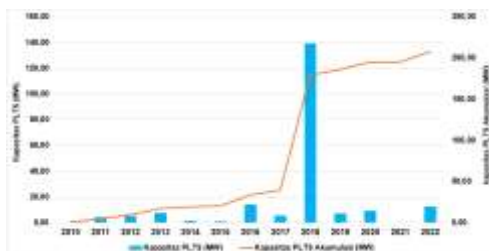
40. Tempat Parkir Universitas Dinamika Surabaya [54]	mendapat penghematan tagihan listrik karena telah dipotong daya PLTS atap [54].
--	---

Dari review yang telah dilaksanakan didapat sejumlah 40 PLTS yang telah memanfaatkan atap gedung atau fasilitas parkir baik yang ada di Indonesia ataupun diluar negeri sebagai tempat panel surya. Rincian jumlah dan kapasitas PLTS pada

Tabel 1: Perkembangan jumlah dan kapasitas PLTS atap bangunan parkir dunia tahun 2010-2022

No.	Nama Gedung Parkir	Lokasi	Kapasitas PLTS (MW)	Tahun	Negara
1	Carpark of National Bank of Arizona	Bank	481	2010	AMERIKA SERIKAT
2	Carpark of Dow Jones & Company's	Perusahaan Keuangan	4.180	2011	AMERIKA SERIKAT
3	Carpark of Citicorp's building	Mal	110	2012	AMERIKA SERIKAT
4	Carpark of Porterville Unified School	Sekolah	5.080	2012	AMERIKA SERIKAT
5	Carpark of West Valley College	Universitas	7.780	2013	AMERIKA SERIKAT
6	Carpark of San Ramon High School District	Sekolah	660	2014	AMERIKA SERIKAT
7	Carpark of Southwest Board and Joint Institute	Wanah Sakat	121	2015	AMERIKA SERIKAT
8	Carpark of The Forum Outlets	Stasiun	991	2015	AMERIKA SERIKAT
9	Carpark of Mount Diablo Unified School	Sekolah	11.100	2016	AMERIKA SERIKAT
10	Carpark of Toyota Home Automotive Group	Perusahaan Mobil	890	2016	AMERIKA SERIKAT
11	Carpark of Intertec Pediatrics	Rumah Sakit	812	2017	AMERIKA SERIKAT
12	Carpark of USA Hitting and Recycling Inc	Perusahaan Daur Ulang	741	2017	AMERIKA SERIKAT
13	Carpark of Tascote's Radiology Ltd	Rumah Sakit	390	2018	AMERIKA SERIKAT
14	Carpark of Fitzgerald Auto Mall	Mal	890	2019	AMERIKA SERIKAT
15	Carpark of Stroudall College	Universitas	2.800	2019	AMERIKA SERIKAT
16	Carpark of John F. Kennedy Airport	Airport	12.180	2012	AMERIKA SERIKAT
17	Carpark of Coty Car Wash Lifestyle Cars	Perusahaan Mobil	191	2015	AUSTRALIA
18	Carpark of Tinnaroo	Pasar	48	2016	AUSTRALIA
19	Carpark of Sydney Markets-Landfill	Mal	851	2016	AUSTRALIA
20	Carpark of University of Southern Queensland (USQ)	Universitas	1.180	2017	AUSTRALIA
21	Carpark of Department Of Justice	Pemerintah	212	2018	AUSTRALIA
22	Carpark of Flinders University	Universitas	119.000	2018	AUSTRALIA
23	Carpark of Lakeland Marketplace	Mal	130	2018	AUSTRALIA
24	Carpark of Dunsborough Centrepoint Shopping Center	Mal	440	2019	AUSTRALIA
25	Carpark of Land Lease-Sydney Plaza Shopping Centre	Mal	1.180	2019	AUSTRALIA
26	Carpark of Latrell Lence-Sydney Airport Corporation	Airport	390	2019	AUSTRALIA
27	Carpark of Monash University	Universitas	741	2019	AUSTRALIA
28	mpark of Wollongong City Council's Administration Bldg	Pemerintah	220	2021	AUSTRALIA
29	Carpark of Sronger Economic Development	Perusahaan Keuangan	185	2018	CHINA
30	Carpark of Tata Motors	Perusahaan Mobil	6.280	2020	INDIA
31	Qubung Parkir Stadion Olimpik Hong Kong	Stasiun	1.050	2018	INDONESIA
32	Bangunan Parkir PT Kalbe Farma Tbk	Perusahaan Farmasi	288	2019	INDONESIA
33	Bangunan Parkir Universitas Dianloma	Universitas	29	2020	INDONESIA
34	Bangunan Parkir RSUD Provinsi Bali	Pemerintah	40	2021	INDONESIA
35	Carpark of Bentley Motors	Perusahaan Mobil	2.780	2019	INGGRIS
36	Carpark of Vaux Valley Water	Perusahaan Air	114	2019	INGGRIS
37	Carpark of Waco Airport	Airport	18.000	2018	IRISMAN
38	Carpark of Garden City	Mal	858	2014	JEPUN
39	Labaena Carpark	Mal	80	2018	LIBANON
40	Carpark of Mall Of The Emirates	Mal	3.080	2017	UAE
Total Kapasitas PLTS			367.499		

Berdasarkan Tabel 1 didapat grafik perkembangan PLTS carpark Dunia sebagai berikut:

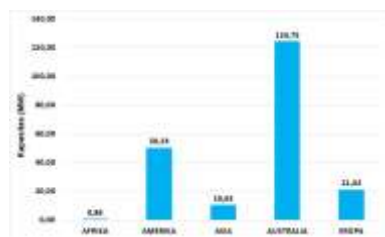


Gambar 2: Perkembangan PLTS carpark

Dapat dilihat pada Gambar 2, setiap tahun terjadi peningkatan kapasitas PLTS carpark dilihat dari kenaikan kapasitas akumulasi. Total kapasitas PLTS carpark tahun 2010-2022 berdasarkan penelitian

sebesar 207,49 MW. Penambahan kapasitas paling tinggi terjadi pada tahun 2018 yakni sebesar 139,3 MW sedangkan penambahan kapasitas terendah terjadi pada tahun 2021 sebesar 0,26 MW.

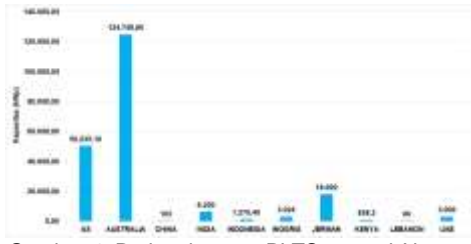
Berdasarkan Tabel 1 didapat grafik perkembangan PLTS carpark tahun 2010-2022 berdasarkan benua sebagai berikut:



Gambar 3: Perkembangan PLTS carpark Benua

Berdasarkan Gambar 3, benua dengan perkembangan PLTS *carpark* tertinggi tahun 2010-2022 yakni benua Australia dengan kapasitas sebesar 124,75 MW sedangkan perkembangan terendah yaitu benua Afrika dengan kapasitas sebesar 0,86 MW.

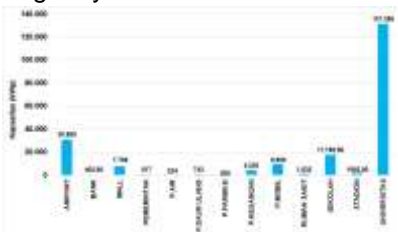
Berdasarkan Tabel 1 didapat grafik perkembangan PLTS atap *carpark* tahun 2010-2022 berdasarkan negara:



Gambar 4: Perkembangan PLTS *carpark* Negara

Berdasarkan Gambar 4, negara dengan perkembangan PLTS *carpark* tertinggi tahun 2010-2022 adalah Australia dengan kapasitas 124,75 MW.

Berdasarkan Tabel 1 didapat grafik perkembangan PLTS atap *carpark* tahun 2010-2022 berdasarkan instansi yang membangunnya.



Gambar 5: perkembangan PLTS *carpark* Instansi

Berdasarkan Gambar 5, lembaga dengan perkembangan PLTS atap *carpark* tahun 2010-2022 yakni dari institusi universitas dengan kapasitas sebesar 131,36 MW sedangkan perkembangan terendah yakni dari institusi perusahaan farmasi dengan kapasitas sebesar 205 kW.

4 KESIMPULAN

Paper ini telah meninjau perkembangan PLTS atap *carpark* di dunia tahun 2010 hingga 2022. Terdapat 40 bangunan parkir yang dimanfaatkan dengan dua kategori bentuk yakni kanopi dan gedung parkir yang

dibangun pada tahun tersebut. Hasil dari riset perkembangan PLTS atap *carpark* setiap tahun mengalami kenaikan. Hingga 2022 akumulasi kapasitas PLTS parkir adalah 207,49 MW. Bentuk bangunan parkir kanopi adalah yang paling sering diterapkan, karena pengaplikasiannya yang mudah dan dapat memanfaatkan lahan kecil. Benua Australia adalah benua yang paling berkembang dalam pembangunan PLTS *carpark* dibanding benua lain, dengan total kapasitas sebesar 124,75 MW.

Pembangunan PLTS *carpark* dibangun dari berbagai lembaga seperti airport, bank, mall, pemerintah, swasta, rumah sakit, stadion, sekolah dan universitas. Institusi dengan perkembangan kapasitas PLTS *carpark* terbesar adalah universitas dengan kapasitas 131,36 MW.

Potensi bangunan parkir sebagai PLTS atap sangat baik, dikarenakan dapat menghasilkan penghematan tagihan listrik dan tidak memerlukan lahan khusus melainkan memanfaatkan atap dari bangunan parkir. PLTS atap *carpark* menghasilkan energi bersih dan mampu menekan emisi karbondioksida sehingga berdampak baik bagi lingkungan.

5 DAFTAR PUSTAKA

- 1) Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL PT PLN) Tahun 2018 s.d. 2027. Jakarta: KESDM
- 2) Anonim. Peraturan Menteri Eenergi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018.
- 3) Anggara, I.W.G.A., Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D. 2014. Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 kW di Universitas Udayana Bukit Jimbaran
- 4) Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL PT PLN) Tahun 2019 s.d. 2028. Jakarta: KESDM
- 5) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN).
- 6) Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL PT PLN) Tahun 2019 s.d. 2028. Jakarta: KESDM
- 7) <https://setkab.go.id/plts-likupang-panel-surya-terbesar-di-indonesia-salurkan-listrik-15-mw-per-hari/>, diakses tanggal 27 Januari 2022

- 8) I.N S. Kumara, M. Ashari, A. S. Sampeallo, A. A. G. A Pawitra (2017), Simulated Energy Production and Performance Ratio of 5 MW Grid Connected Photovoltaic under Tropical Savannah Climate in Kupang Timor Island of Indonesia, *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 7, no. 2, 2017, pp. 117 – 129, <http://ojs.imeti.org/index.php/IJETI/article/view/181>
- 9) Kumara, I. N. S., Ariastina, W. G., Sukerayasa, I. W., & Giriantari, I. A. D. (2013, October). 1 MWp grid connected PV systems in the village of Kayubih Bali. In *2013 International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)* (pp. 306-311). IEEE.
- 10) I.N.S. Kumara, I. A. D. Giriantari, W. G. Ariastina, "On The Potential and Progress Of Renewable Electricity Generation in Bali," *2014 6th Int. Conf. Inf.* <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7007944&isnumber=7006983>
- 11) Wicaksana, M.R.; Kumara, I.N.S.; Giriantari, I.A.D. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 kWp Pada Kantor Gubernur Bali. **Jurnal SPEKTRUM**, [S.I.], v. 6, n. 3, p. 107-113, sep. 2019. ISSN 2684-9186, <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2019.v06.i03.p15>
- 12) Vidhia Kumara, Ketut; Satya Kumara, I Nyoman; Ariastina, Wayan Gede. Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggaran Bali. **Jurnal SPEKTRUM**, [S.I.], v. 5, n. 2, p. 26-35, dec. 2018. ISSN 2684-9186, <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2018.v05.i02.p04>.
- 13) Gunawan, N. Surya; Kumara, I. N. Satya; Irawati, Rina. Unjuk Kerja PLTS 26,4 kWp Pada Sistem Smart Microgrid Unud. **Jurnal SPEKTRUM**, [S.I.], v. 6, n. 3, p. 1-9, sep. 2019, <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2019.v06.i03.p01>.
- 14) Sanjaya, Oya Iman; Giriantari, IAD; Kumara, I N Satya. Perancangan Sistem Pompa Irigasi PLTS 52,14 kW Untuk Pertanian Subak Semaagung. **Jurnal SPEKTRUM**, [S.I.], v. 6, n. 3, p. 114-121, sep. 2019.
- 15) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 22 November 2021
- 16) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 22 November 2021
- 17) <https://www.pv-magazine-australia.com>, diakses tanggal 22 November 2021
- 18) <https://news.flinders.edu.au>, diakses tanggal 23 November 2021
- 19) <https://www.pv-magazine-australia.com>, diakses tanggal 23 November 2021
- 20) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 24 November 2021
- 21) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 24 November 2021
- 22) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 24 November 2021
- 23) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 27 November 2021
- 24) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 27 November 2021
- 25) <https://www.autonomousenergy.com>, diakses tanggal 28 November 2021
- 26) <https://wollongong.nsw.gov.au>, diakses tanggal 29 November 2021
- 27) <https://www.bentleymedia.com>, diakses tanggal 29 November 2021
- 28) <https://www.autonomousenergy.com/projects/yarra-valley-water-solar>, diakses tanggal 29 November 2021
- 29) <https://gardencity-nairobi.com>, diakses tanggal 30 November 2021
- 30) <https://airport-weeze.com>, diakses tanggal 30 November 2021
- 31) <https://www.constructionweekonline.com>, diakses tanggal 4 Desember 2021
- 32) <https://www.mass.gov/doc>, diakses tanggal 4 Desember 2021
- 33) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 5 Desember 2021
- 34) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 5 Desember 2021
- 35) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 25 November 2021
- 36) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 28 November 2021
- 37) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 7 Desember 2021
- 38) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 7 Desember 2021
- 39) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 9 Desember 2021
- 40) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 10 Desember 2021
- 41) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 11 Desember 2021
- 42) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 11 Desember 2021
- 43) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal

13 Desember 2021

- 44) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 14 Desember 2021
- 45) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 13 Desember 2021
- 46) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 12 Desember 2021
- 47) <https://us.sunpower.com>, diakses tanggal 14 Desember 2021
- 48) <https://www.chikousa.com>, diakses tanggal 17 Desember 2021
- 49) <https://www.chikousa.com>, diakses tanggal 15 Desember 2021
- 50) <https://www.tatamotors.com>, diakses tanggal 14 Desember 2021
- 51) <https://www.mongabay.co.id>, diakses tanggal 18 Desember 2021
- 52) <https://www.atw-solar.id>, diakses tanggal 21 Desember 2021
- 53) <https://www.kompas.id>, diakses tanggal 22 Desember 2021
- 54) <https://eternal.co.id/universitas-dinamika>, diakses tanggal 25 Desember 2021