

POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP MENGGUNAKAN PANEL SURYA TIPIS TANPA RANGKA ALUMINIUM UNTUK PELANGGAN RUMAH TANGGA PLN DI INDONESIA

Aep Saepul Uyun^{1,2}, Carolus Boromeus Rudationo Tri Wahjatmo¹, Bangun Novianto¹, Erkata Yandri^{1,2}, Syukri Muhammad Nur^{1,2}, Riki Firmandha Ibrahim¹, Fitriani¹

¹Sekolah Pascasarjana, Universitas Darma Persada,

²Pusat Kajian Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada, Jl. Taman Malaka Selatan No.8, Pondok Kelapa, Jakarta Timur 13450, Indonesia

*Correspondence author: ; **Aep Saepul Uyun**

Tel.: +62-21-8649051 & 8649059 Ext. 2020

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis teknis perhitungan kebutuhan kapasitas, aspek finansial, dan prospek pemakaian PLTS Atap oleh pelanggan listrik Rumah tangga R1 sampai R2 PLN di Indonesia. Sumber energi fosil Indonesia semakin terus berkurang karena kecepatan pembentukan sumber energi fosil sangat lambat atau mencapai jutaan tahun sementara pemakaiannya sangat cepat, untuk mengatasi hal ini perlu digunakan sumber energi yang tidak akan habis karena akan terbentuk dengan mudah, yaitu Sumber energi terbarukan. Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang tersedia berlimpah di seluruh wilayah Indonesia, apalagi letak negaranya yang berada di daerah khatulistiwa. Pemanfaatan energi surya dengan pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (PLTS Atap) pada bangunan yang ada jaringan listrik PLN dipermudah melalui permen ESDM no 49 tahun 2018 dan permen ESDM no 16 tahun 2019. Adanya produk panel surya memakai kaca tipis tanpa frame yang ringan membuat pemasangan PLTS Atap diharapkan lebih menarik minat karena tidak perlu mempertimbangkan untuk menambah biaya untuk penguatan penahan beban atap. Berdasarkan ulasan di atas belum pernah diteliti faktor-faktor hubungan pengaruh pemakaian PLTS Atap oleh pelanggan Rumah tangga PLN dengan luas atap tersedia dan potensi pemasangan panel surya agar bisa dipasang secara masif di Indonesia untuk memenuhi target bauran energi terbarukan. Metode yang dilakukan yaitu dengan menghitung luas atap tersedia dan dibutuhkan, pengaruh berat penambahan panel surya tipis terhadap penyangga atap. Selanjutnya, dihitung potensi pemasangan PLTS Atap oleh pelanggan rumah tangga PLN dihitung dengan dasar data jumlah pelanggan dan besarnya daya PLTS atap terpasang. Hasil analisa menunjukkan luas atap minimum tersedia masih cukup untuk kebutuhan luas atap penempatan panel surya, berat panel surya tipis lebih aman terhadap panel surya standar, dan penghematan pembayaran listrik untuk pengembalian investasi PLTS Atap ini mulai menarik dengan IRR lebih dari 10%. Potensi pemasangan PLTS Atap dengan skenario 1 pemasangan 1 % dan skenario 2 pemasangan 0.5 % pelanggan Rumah tangga PLN Non subsidi adalah 4.111.972 Kwp (4.112 Mwp) dan 2.059.986 Kwp (2.060 MWp). Apabila target Energi terbarukan sesuai RUEN 35000 MW dengan energi Surya sebesar 6500 MW tahun 2025, maka potensi ini sama dengan 63,26% dari target (skenario 1) atau 31,63 % dari target (Skenario 2). Penelitian selanjutnya akan dilakukan untuk menganalisa secara teknis dengan software simulasi

pengaruh beban frame terhadap atap rumah tangga di Indonesia untuk dijadikan sebagai dasar perumusan standar atap di Indonesia.

Kata kunci : PLTS Atap, PLN, Energi Surya, Panel surya tipis.

1. PENDAHULUAN

Sumber energi fosil Indonesia semakin terus berkurang karena kecepatan pembentukan sumber energi fosil sangat lambat atau mencapai jutaan tahun sementara pemakaiannya sangat cepat [1]. Hal ini menyebabkan sumber energi fosil akan semakin menipis. Menurut Panwar dan Kaushik untuk mengatasi hal ini perlu digunakan sumber energi yang tidak akan habis karena akan terbentuk dengan mudah, yaitu Sumber energi terbarukan. Karakteristik sumber energi terbarukan adalah mudah diperoleh kembali dengan mudah dan tidak menimbulkan efek pada munculnya gas rumah kaca (GRK). Sumber energi terbarukan adalah: energi surya, energi angin, energi air (hidro), energi panas bumi dan energi biomassa [2].

Energi surya adalah energi terbarukan yang tersedia berlimpah di seluruh wilayah Indonesia, apalagi letak negaranya yang berada di daerah katulistiwa[3]. Menurut George dan Nathan energi ini berbentuk sinar dan gelombang. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan perangkat teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, arsitektur surya, dan fotosintesis buatan [3].

Tujuan pengelolaan energi Indonesia adalah sebagai modal pembangunan nasional menurut Undang Undang Republik Indonesia dan mempunyai target bauran pemakaian sumber energi terbarukan 23% tahun 2025 dan 31% tahun 2050. Tahun 2018 bauran pemakaian energi terbarukan barulah 15.2%. Bauran pemakaian energi surya dari total energi terbarukan tahun 2018 barulah sekitar 3% [5]. Hal ini disebabkan masih adanya hambatan dalam masalah peraturan pemasangan, berat panel dan estetika PLTS Atap, operasional dan peraturan khususnya on-grid, serta penyimpanan hasil listrik (Batere) yang terkait biaya (off-grid). Data pelanggan PLN di Indonesia menunjukkan bahwa pemakai terbesar daya listrik PLN dari tahun 2012 hingga 2017 adalah pelanggan rumah tangga. Pengurangan pemakaian daya listrik pelanggan rumah tangga PLN dengan menggantikannya dengan sumber PLTS Atap menjadi sangat relevan untuk pencapaian tujuan pencapaian bauran energi terbarukan di Indonesia dengan mengikutsertakan peran masyarakat Indonesia.

Munculnya peraturan menteri ESDM no 49 tahun 2018 dan no 16 tahun 2019 serta kebijakan PLN yang mempermudah pemasangan dan pemakaian PLTS Atap sejak tahun 2019 membuat peraturan pemasangan dan pemakaian PLTS On-grid lebih menarik[5], [6]. PLN juga menyediakan peraturan dan perangkat metering ekspor-impur yang memungkinkan pemasangan PLTS Atap yang tersambung hybrid dengan grid PLN membuat PLTS Atap on Grid baik untuk bangunan rumah tangga atau gedung komersial diminati [7]. Adanya produk panel surya memakai kaca tipis tanpa frame yang ringan membuat pemasangan PLTS Atap diharapkan lebih menarik minat karena tidak perlu mempertimbangkan untuk menambah biaya untuk penguatan penahan beban atap. Cara pemasangannya yang hanya menggunakan pelekat double tanpa perlu melubangi atap membuat kemungkinan bocor atap dihindari.

Berdasarkan tinjauan di atas, belum pernah dilakukan penelitian faktor-faktor hubungan pengaruh penggunaan PLTS Atap oleh pelanggan Rumah tangga PLN dengan luas atap yang tersedia dan potensi pemasangan panel surya agar dapat dipasang secara masif di Indonesia untuk memenuhi target bauran energi terbarukan. Untuk alasan ini, penelitian kami bertujuan untuk menganalisis teknis perhitungan kebutuhan kapasitas,

aspek finansial dan prospek penggunaan PLTS Atap oleh pelanggan listrik Rumah tangga R1 sampai R2 PLN di Indonesia. Selanjutnya penelitian ini akan dianalisis secara teknis dengan software simulasi pengaruh beban frame terhadap atap rumah tangga di Indonesia untuk dijadikan sebagai dasar perumusan standar atap di Indonesia.

2. PLTS ATAP DI INDONESIA

Untuk memanfaatkan potensi energi surya menjadi energi final, yaitu energi listrik digunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya. Sistem ini mengubah energi gelombang elektromagnetik dari sinar infra merah matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) atau arus bolak balik (AC)[8]. Panel Surya adalah alat yang terdiri dari rangkaian sel surya yang mengubah gelombang cahaya menjadi listrik. Ada beberapa macam material sel surya, di antaranya adalah mono kristalin, poli kristalin, amorf kristalin (a-si) dan lapisan tipis CIS (Cu, Cd dan Zn)[9]. Pelindung panel surya bisa menggunakan kaca atau bahan plastik yang bisa menghantarkan transmisi sinar matahari dengan hampir sempurna. Persyaratan pelindung kaca atau plastik untuk panel surya adalah transmitor sinar matahari yang mendekati 100%, mempunyai sifat termal dan massa fisik yang rendah dan pertimbangan berat [10]. Material panel yang digunakan akan menyebabkan efisiensi modul surya berbeda, yaitu Mono Kristalin 16%, Poli Kristalin 13%, Amorf Kristalin 8% dan lapis tipis CIS 11,5%[11].

Panel surya tipis yang digunakan pada sistem PLTS Atap yang dibahas adalah panel surya memakai lapisan kaca tipis dengan tebal kaca 2.0 mm dan tanpa memakai frame yang terbuat dari alumunium. Kaca tipis yang digunakan ini akan menghasilkan transmisi sinar gelombang surya yang lebih sempurna dan memiliki berat massa yang lebih ringan.[12]. Panel surya tipis ini akan mempunyai umur pakai 25 tahun di mana selama umur pakai, panel tersebut akan menghasilkan listrik lebih dari 80 % kapasitas yang tertulis pada label spesifikasi [13]. Spesifikasi panel surya tipis tanpa frame mono kristalin 255 Wp 31 Volt mempunyai berat 6 kg seperti terlihat pada gambar 2. Spesifikasi yang sebanding untuk kapasitas yang sama mono kristalin 250 Wp 31 volt dengan frame mempunyai berat 15 kg.



Gambar 1. Panel surya tipis JLeaf mono kristalin 255 Wp [14].

Beberapa tulisan sudah membahas tentang pemakaian solar PLTS atap di Indonesia, namun belum didapatkan tulisan yang membahas efek penambahan beban panel surya pada atap rumah tinggal pada umumnya di Indonesia. Prihatmaji dan Kitamori mendapatkan bahwa kebanyakan rumah di Indonesia tidak mempunyai struktur yang disiapkan untuk sanggup menahan penambahan beban berat di atap [15]. Oleh karena itu pemasangan solar panel atap perlu mempertimbangkan berat panel surya.

Pemakaian Pembangkit surya atap on grid di Indonesia oleh pelanggan PLN menjadi potensi yang besar untuk pencapaian target bauran energi nasional 23% tahun 2025. Simulasi untuk menganalisa secara ekonomi dilakukan Subrianto untuk implementasi PLTS Atap oleh pelanggan PLN dengan memakai dasar Permen ESDM No 49 tahun 2018 dan menggunakan kWh Ekspor Impor dan solar panel tebal standar berframe aluminium [16]. Dampak pemakaian PLTS Atap on grid termasuk di Indonesia sudah dibahas baik aspek ekonomi dan lingkungan. Aspek lingkungan dibahas dengan menghitung reduksi munculnya gas rumah kaca [10]. Aspek finansial dibahas dengan menghitung IRR, BEP, Life cycle cost dan benefit cost ratio [17], [18].

3. METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kapasitas PLTS atap On Grid yang dipasang secara optimal untuk mensuplai listrik untuk pelanggan rumah tangga PLN berdasarkan pemakaian listrik untuk peralatan rumah tangga siang hari. Selanjutnya, memberikan gambaran kebutuhan luas atap untuk pemasangan panel surya dan dibandingkan dengan luas atap yang tersedia dari data survey.
2. Memberikan analisa finansial pemasangan PLTS Atap On Grid oleh pelanggan rumah tangga PLN. Menghitung potensi besarnya PLTS Atap On Grid di rumah pelanggan PLN di Indonesia dengan memakai panel surya tipis tanpa frame aluminium.

Ruang lingkup penelitian ini yaitu, menganalisa pemanfaatan pembangkit listrik surya atap pada pelanggan rumah tangga PLN dari 450 watt sampai 5500 watt di daerah kota Jakarta, Bandung, Yogyakarta, Makasar dan Pontianak. PLTS Atap yang digunakan adalah On-Grid tanpa baterai menggunakan panel surya tipis tanpa frame aluminium. Data energi listrik yang dipakai oleh pelanggan rumah tangga PLN diambil dari data survey yang dilakukan di 5 daerah. Data survey yang diambil meliputi: Daya terpasang PLN, pembayaran listrik PLN bulanan, jumlah anggota keluarga di rumah, luas rumah, peralatan listrik rumah tangga yang dipakai siang hari, peralatan listrik Rumah tangga yang dipakai sore dan malam hari.

Data daya listrik peralatan rumah tangga menggunakan asumsi, yaitu: TV 100 watt, kulkas 100 watt, kompor listrik 400 watt, setrika 300 watt, rice cooker 300 watt, pompa air 300 watt, kipas angin 75 watt, lampu 50 watt, dan pendingin udara (AC) 350 watt. Asumsi lain adalah biaya listrik diambil rata-rata nilai pembayaran dari semua pelanggan per golongan daya listrik PLN. Batas atas pemakaian daya PLTS Atap adalah 90% dari daya PLN terpasang sesuai peraturan direksi PLN tahun 2018.

Skenario perhitungan finansial dilakukan dengan menggunakan IRR dan PBP dari beberapa besar daya PLTS Atap yang dipakai sampai dengan maksimum 90 % dari Daya PLN terpasang. Biaya investasi dihitung dengan menggunakan komponen: panel surya tipis tanpa frame dengan beberapa daya yang tersedia, inverter affordable yang berkualitas, kabel buatan lokal dan kelengkapan lain yang harganya terjangkau namun berkualitas sesuai standar nasional Indonesia.

Besarnya potensi pemasangan PLTS Atap On grid di Indonesia menggunakan skenario kenaikan pemasangan adalah 1% pertahun dari jumlah pelanggan PLN di tahun pertama dan kedua, kemudian 0.5% pertahun di tahun-tahun berikutnya.

4. HASIL

Kebutuhan listrik pelanggan PLN diperoleh dengan cara survey terhadap responden di 5 area, yaitu jabodetabek, Bandung, Yogyakarta, Pontianak dan Makasar. Survey dilakukan menggunakan dasar web yaitu google form. Data yang diminta adalah antara lain: daerah tinggal, kapasitas PLN terpasang, perlengkapan alat listrik yang dipakai siang hari dan malam hari, luas Rumah, jumlah anggota keluarga, tagihan listrik bulanan, kemauan memasang PLTS Atap, dan pemahaman tentang PLTS Atap. Pengolahan data pelanggan PLN diatas dilakukan dengan mengelompokan data, dan menggunakan beberapa asumsi dalam perhitungan lebih lanjut. Asumsi yang digunakan adalah beban rata-rata listrik siang hari saat ada matahari (jam 08.00 – 16.00) adalah 30 % dari total beban [19]. Hasil survey sesuai dengan tabel 1. menunjukkan bahwa rata-rata penggunaan daya di siang hari adalah 1.2 – 2.1 kWh pada kelompok daya terpasang PLN 900 VA dan 2 – 3.5 kWh pada kelompok daya terpasang PLN 1300 VA.

Tabel 1. Data Hasil Survey Pelanggan Rumah Tangga PLN.

Wilayah	Daya PLN (VA)	Harga Listrik (IDR/KWh)	Biaya Listrik (IDR/ bulan)	kWh/ Hari	kWh/ Siang Hari (jam 8 - 16)	Watt Listrik Siang
Jabodetabek	900	1,352	283,333	6.99	2.10	800
	1300	1,467	519,565	11.81	3.54	1000
	2200	1,467	811,628	18.44	5.53	1500
	3500	1,467	1,807,292	41.07	12.32	2500
Yogyakarta	900	1,352	210,417	5.19	1.56	800
	1300	1,467	310,000	7.04	2.11	1000
	2200	1,467	650,000	14.77	4.43	1500
	3500	1,467	1,500,000	34.08	10.22	2500
Bandung	450	1,174	75,000	2.13	0.64	350
	900	1,467	181,250	4.12	1.24	800
	1300	1,467	313,889	7.13	2.14	1000
	2200	1,467	408,333	9.28	2.78	1500

	3500	1,467	875,000	19.88	5.96	2500
Makassar	450	1,174	150,000	4.26	1.28	350
	900	1,467	263,636	5.99	1.80	800
	1300	1,467	228,125	5.18	1.56	1000
	2200	1,467	681,250	15.48	4.64	1500
Pontianak	900	1,467	285,000	6.48	1.94	800
	1300	1,467	495,000	11.25	3.37	1000
	2200	1,467	777,778	17.67	5.30	1500
	3500	1,467	625,000	14.20	4.26	2500

Tabel 2. Aspek Finansial PLTS Atap.

Daya PLN (VA)	Daya PLTS Atap (Watt Peak)	IRR (%)	PBP (Tahun)
900	810	8.8	11.36
1300	1170	12.2	8.93
2200	1980	15.4	6.49
3500	3150	18.2	5.49
5500	4950	20.2	4.95

Tabel 3. Kebutuhan Luas Atap PLTS Atap.

Area	Daya PLN (VA)	Luas Atap	
		Ketersediaan Atap Rumah Tangga (m ²)	Kebutuhan untuk PLTSA (m ²)
Jabodetabek	450	18	3.62
	900	42	3.53
	1300	28	4.81
	2200	42	8.54
	3500	74	9.72
	5500	74	8.83
Yogyakarta	450	18	3.5
	900	42	3.11
	1300	42	4.2

	2200	85	6.29
	3500	85	8.23
	5500	85	8.59
Bandung	450	28	3.6
	900	28	3.96
	1300	18	4.87
	2200	28	10.4
	3500	74	11.04
	5500	82	11.52
Makasar	450	18	3.42
	900	18	2.85
	1300	18	3.75
	2200	28	5.64
	3500	42	8.37
	5500	80	3.96
Pontianak	450	18	3.38
	900	18	4.25
	1300	28	6.24
	2200	57	6.33
	3500	42	7.05
	5500	85	6.15

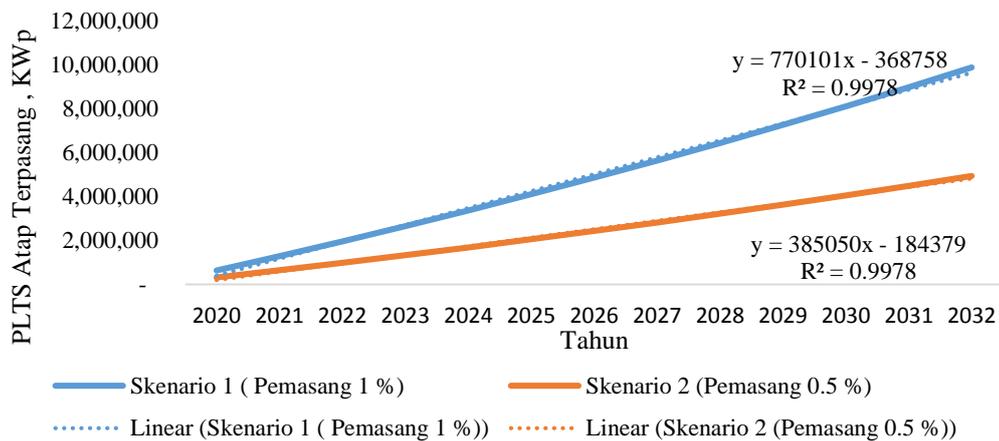
Biaya PLTS Atap terpasang dipengaruhi oleh daerah pemasangan. Harga material komponen panel Surya terpasang di Pulau Jawa relatif sama. Biaya PLTS Atap terpasang di Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Papua mengalami kenaikan karena adanya biaya pengiriman. Apabila jumlah pemakaian PLTS Atap di luar Pulau Jawa menjadi masif, maka biaya pengiriman akan semakin turun, sehingga harga di Indonesia akan relatif sama. Apabila digunakan standar IRR yang menarik adalah $IRR > 12\%$, dari grafik dapat diambil kesimpulan pada titik kapasitas PLTS Atap yang menarik pelanggan Rumah tangga PLN untuk memasangnya. Seperti terlihat pada tabel 2. IRR pada kapasitas pemasangan PLTS Atap 1170 Watt Peak yaitu sebesar 12.2% dan sudah menjadi menarik dalam segi bisnis instalasi PLTS Atap. Semakin meningkat kapasitas PLTS Atap terpasang, semakin besar nilai IRR nya.

Pay Back Period menunjukkan waktu di mana nilai total Net Present Value (NPV) = 0 (Nol). Hal ini berarti Net Present Value pengeluaran (investasi ditambah pengeluaran maintenance periodik) sama dengan nilai Net present value pemasukan (Penghematan pembayaran listrik PLN). Perhitungan Pay Back Period (PBP) dijadikan tolok ukur seberapa lama investasi yang dikeluarkan kembali dari pemasukan yang berasal dari penghematan pembayaran listrik. Perhitungan PBP dilakukan dengan menghitung Net Present Value baik dari investasi dan pemasukan penghematan. Hasil perhitungan PBP terlihat dalam tabel 2. PBP semakin membaik selaras dengan meningkatnya kapasitas PLTS Atap yang dipasang.

Kebutuhan luas atap untuk instalasi PLTS Atap didapatkan dari hasil survey. Luas atap yang dibutuhkan untuk PLTS Atap seperti terlihat pada tabel 3. sudah sangat

terpenuhi dari luas atap rumah tangga PLN yang tersedia pada semua kelompok Daya PLN (VA) rumah tangga. Ketersediaan luas atap dan juga arah sudut atap rumah pelanggan PLN dalam hal ini di abaikan.

Potensi Pemasangan PLTS Atap Pelanggan Rumah Tangga PLN



Gambar 2. Potensi Pemasangan PLTS Atap Pelanggan Rumah Tangga

Potensi besarnya PLTS Atap yang dipasang oleh pelanggan rumah tangga PLN berhubungan dengan jumlah pelanggan PLN, besar kapasitas PLN terpasang dan dipengaruhi oleh aspek perhitungan finansial (investasi, payback period), teknis (dampak terhadap penyangga atap), lingkungan (pohon, Rumah tetangga yang tinggi) dan kepercayaan terhadap garansi sistem.

Perbedaan harga tarif PLN yaitu IDR 1352/ Kwh untuk pelanggan disubsidi 900 VA atau 450 VA dan IDR 1467/ Kwh untuk pelanggan non subsidi 1300 VA ke atas, menyebabkan penghematan yang diperoleh untuk pelanggan PLN bersubsidi tidak menarik. Hal ini disimpulkan dengan melihat IRR di bawah 12 %.

Skenario dibuat untuk menghitung potensi pemasangan PLTS Atap memakai panel Surya tipis diantaranya adalah, pelanggan PLN non subsidi 1300 VA ke atas, PLTS Atap dimulai dari 1170 Wp, Basis Harga kota besar dan jumlah masiv, Pertambahan pemasang adalah 1% dan 2 % dari jumlah pelanggan PLN per tahun atau penambahan pemasang adalah linear, Harga listrik PLN naik 15 % per tahunnya, Bunga bank 10 % per tahun dengan kapasitas PLTS terpasang 75 % 1170 Wp dan 25 % 1980 Wp, dan Penambahan pelanggan rumah tangga PLN sebesar 1.161.043 pelanggan per tahun 2018 atau 1.59 %, serta pertumbuhan pelanggan diasumsikan rata sampai tahun 2032.

Ada 2 potensi kapasitas PLTS Atap dipasang, yaitu 1170 Wp untuk Daya PLN 1300 VA dan 1980 Wp untuk daya PLN 2200 dan 3500 VA. Hal ini sesuai kebutuhan daya listrik terpakai siang hari dari data survey. Hasil perhitungan potensi pemasangan PLTS Atap dengan skenario 1 pemasang 1% dan skenario 2 pemasang 0.5 % pelanggan Rumah tangga PLN Non subsidi adalah 4.111.972 Kwp (4.112 Mwp) dan 2.059.986 Kwp (2.060 MWp).

5. KESIMPULAN

Data hasil survey menggambarkan situasi dan kondisi konsumsi listrik dan tersedianya luas atap di rumah pelanggan PLN. Aspek finansial pada penelitian ini

didapatkan IRR pada kapasitas pemasangan PLTS Atap 1170 Watt Peak yaitu sebesar 12.2% dan sudah menjadi menarik dalam segi bisnis instalasi PLTS Atap. Semakin meningkat kapasitas PLTS Atap terpasang, semakin besar nilai IRR nya. Sementara PBP yang menarik untuk PLTS Atap adalah dibawah 8 tahun, dan didapatkan pada pelanggan PLN 2200 VA.

Potensi besarnya PLTS Atap yang dipasang oleh pelanggan rumah tangga PLN berhubungan dengan jumlah pelanggan PLN, besar kapasitas PLN terpasang dan dipengaruhi oleh aspek perhitungan finansial (investasi, payback period), teknis (dampak terhadap penyangga atap), lingkungan (pohon, Rumah tetangga yang tinggi) dan kepercayaan terhadap garansi sistem. Ada 2 potensi kapasitas PLTS Atap dipasang, yaitu 1170 Wp untuk Daya PLN 1300 VA dan 1980 Wp untuk daya PLN 2200 dan 3500 VA. Hal ini sesuai kebutuhan daya listrik terpakai siang hari dari data survey. Hasil perhitungan potensi pemasangan PLTS Atap dengan skenario 1 pemasang 1% dan skenario 2 pemasang 0.5 % pelanggan Rumah tangga PLN Non subsidi adalah 4.111.972 Kwp (4.112 Mwp) dan 2.059.986 Kwp (2.060 MWp).

DAFTAR PUSTAKA

1. K. Kant, A. Shukla, A. Sharma, and P. Henry, 2016, ***Thermal response of polycrystalline silicon photovoltaic panels : Numerical simulation and experimental study***, *Sol. Energy*, vol. 134, pp. 147–155.
2. N. L. Panwar, S. C. Kaushik, and S. Kothari, 2011, ***Role of renewable energy sources in environmental protection : A review***, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1513–1524
3. M. Rumbayan, A. Abudureyimu, dan K. Nagasaka, 2012, ***Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system***, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 3, hal. 1437–1449
4. G. W. Crabtree and N. S. Lewis, 2007, ***Solar energy conversion***, no. March, pp. 37–42
5. Permen ESDM No. 49 Tahun 2018, 2018, ***Penggunaan Sistem PLTS Surya Atap oleh Konsumen PT. PLN (Persero)***
6. H. Outhred dan M. Retnanestri, 2015, ***Insights from the Experience with Solar Photovoltaic Systems in Australia and Indonesia***, in *Energy Procedia*, 2015, vol. 65, hal. 121–130.
7. B. D. Sharma, 2015, ***Rooftop Solar PV Power : Potential , Growth and Issues related to Connectivity and Metering***, no. January
8. M. A. Sihotang and K. Okajima, 2017, ***Photovoltaic Power Potential Analysis in Equator Territorial : Case Study of Makassar City , Indonesia***, pp. 15–29
9. K. Sifat et al., 2006, ***Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis a-Si:H:B Untuk Bahan Sel Surya***, vol. IX, no. 2, pp. 31–37
10. ***Combined effect of light harvesting strings, anti-reflective coating, thin glass, and high ultraviolet transmission encapsulant to reduce optical losses in solar modules schneider 2014_Marko turek marcel dyrba.pdf.***
11. G. Notton, V. Lazarov, and L. Stoyanov, 2010, ***Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations , inverter efficiency characteristics and locations***, *Renew. Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 541–554
12. J. E. Webb, S. H. Kim, D. I. Wilcox, K. L. Wasson, S. T. Gulati, and G. Bitsuamlak, 2010, ***Thin Specialty Glass For Reliable Thin Film Pv Modules***, pp. 789–793
13. A. Nicholls, R. Sharma, and T. K. Saha, 2015, ***Financial and environmental analysis of rooftop photovoltaic installations with battery storage in Australia***, *Appl.*

- Energy*, vol. 159, pp. 252–264
14. C. B. . Rudationo, 2021, ***Techno-economic Analysis of Rooftop Photovoltaic System (RPVS) using Thin-Frameless Solar Panels for Household Customers in Indonesia: Techno-economic Analysis of Rooftop Photovoltaic System in Indonesia***, PPASA, vol. 58, no. S, pp. 131–139, Dec
 15. Y. P. Prihatmaji, A. Kitamori, and K. Komatsu, 2014, ***International Journal of Architectural Heritage: Conservation , Analysis , and Restoration Traditional Javanese Wooden Houses (Joglo) Damaged By May 2006 Yogyakarta Earthquake , Indonesia***, no. December, pp. 37–41
 16. E. Science, 2020, ***Technoeconomic Analysis Of A Solar Rooftop : A Case Study In Medan City , Indonesia Technoeconomic Analysis Of A Solar Rooftop : A Case Study In Medan City , Indonesia***, pp. 0–7
 17. M. H. Albadi et al., 2014, ***Design Of A 50 Kw Solar PV Rooftop System,***” pp. 401–409
 18. S. Pascasarjana and U. D. Persada, 2019, ***Simulasi Potensi Aplikasi PLTS Atap Pelanggan PLN Tipe R-1 dan R-2 dengan Skenario Ekspor / Impor Simulasi Potensi Aplikasi PLTS Atap Pelanggan PLN Tipe R-1 dan R-2 dengan Skenario Ekspor / Impor***, vol. 2017910007
 19. A. Murdani dan A. Purwanto, 2017, ***Overview and Operational Challenges of Jawa Bali Power System***, hal. 214–218

