

Analisis Dampak Kebijakan Implementasi PLTS Atap pada Gedung Pemerintah menggunakan Skenario Proyeksi

RICHI ILHAM, HAKIMUL BATIH

Institut Teknologi PLN, Indonesia
Email: richi2010011@itpln.ac.id

Received 24 Mei 2023 | *Revised* 26 Juni 2023 | *Accepted* 18 Juli 2023

ABSTRAK

Pemerintah masih tetap akan melakukan implementasi PLTS Atap pada 30% dari luas atap bangunan/gedung pemerintah sedangkan implementasi peraturan Menteri ESDM tentang PLTS Atap yang masih tertunda atau tidak maksimal dikarenakan ketidakpastian yang tinggi dari dampak implementasinya atas demand PLN. Terkait itu perlu dilakukan analisis skenario proyeksi pertumbuhan PLTS Atap pada Gedung pemerintah menggunakan pendekatan pertumbuhan PLTS Atap di Asia menjadi empat skenario proyeksi dengan kombinasi tahun awal implementasi (laju pertumbuhan) yaitu : 2026 (8,88%), 2031 (26,91%), 2032 (13,11%) dan 2022 (mengikuti pertumbuhan pelanggan). Dari hasil perhitungan potensi untuk pelanggan PLN P1 mulai dari 2.567,32 MWh hingga 757.816,08 MWh dan Pelanggan PLN P2 sebesar 884,82 MWh hingga 20.331,10 MWh. Dampak terhadap demand PLN khususnya pelanggan P1 dan P2, dari seluruh skenario mengakibatkan pelanggan dapat memenuhi kebutuhan listriknya secara mandiri pada beberapa tahun setelah implementasi sebelum tahun 2050 kecuali pelanggan P1 untuk skenario 3.

Kata kunci: Demand, Gedung Pemerintah, PLTS Atap, Skenario Proyeksi

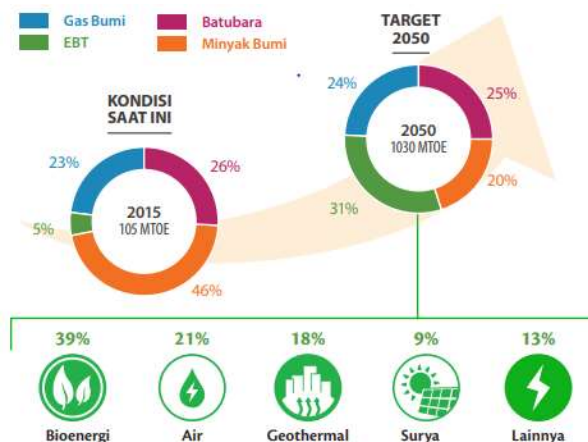
ABSTRACT

The government plans to install Rooftop Solar PV on 30% of government buildings' roof areas, but the implementation of regulations by the Minister of Energy and Mineral Resources is delayed, leading to uncertainty about its impact on PLN's electricity demand. Therefore, an analysis of Rooftop Solar PV growth scenarios is necessary. Four projection scenarios are considered: 2026 (8.88% growth rate), 2031 (26.91% growth rate), 2032 (13.11% growth rate), and 2022 (following customer growth). Calculations indicate the potential Rooftop Solar PV capacity in government buildings for PLN P1 customers ranges from 2,567.32 MWh to 757,816.08 MWh, and for PLN P2 customers, it ranges from 884.82 MWh to 20,331.10 MWh. The impact on PLN's demand, particularly for P1 and P2 customers, suggests that they will be able to meet their electricity needs independently for several years after implementation, except for P1 customers in scenario 3, until 2050.

Keywords: Demand, Government Building, PV Rooftop, Projection Scenario

1. PENDAHULUAN

Konferensi tingkat tinggi G20 2022 yang diadakan di Indonesia memiliki salah satu prioritas isu yaitu tentang “*Sustainable Energy Transition*” yang salah satu pembahasannya bertema EBT Indonesia menuju *Net Zero Emission 2060*. Pada tahun 2021 porsi pembangkit EBT Indonesia sebesar 15,1% , ditargetkan dalam RUPTL PLN 2021-2030 dapat mencapai 23% pada tahun 2025 (setara 92,2 MTOE) dan dalam RUEN sebesar 31% pada tahun 2050 dengan secara komposisi pembangkit tenaga surya sebesar 9% dari total EBT yang digambarkan pada Gambar 1 (**Kementerian PPN/Bappenas, 2019**).



Gambar 1. Target Rencana Umum Energi Nasional

Hal di atas selaras dengan diterbitkannya ENDC (*Enhanced Nationally Determined Contribution*) pada tanggal 23 September 2022 yang menyampaikan perubahan target penurunan emisi gas rumah kaca Indonesia dari 29% ke 31,89% dengan upaya sendiri dan dari 41% ke 43,2% apabila mendapat dukungan internasional pada tahun 2030 (**Republik Indonesia, 2022**) dengan angka yang lebih agresif dibandingkan dengan RUEN.

Target bauran energi baru terbarukan yang diamanatkan dalam Ketahanan Energi Nasional tahun 2025 sebesar 23% merupakan target yang sama pada RUPTL PLN 2021-2030 dengan perhitungan untuk pencapaian tersebut dalam RUEN menggunakan asumsi dasar pertumbuhan ekonomi rata-rata 7% hingga 8% sampai tahun 2025 (**Kementerian ESDM, 2021**) namun kenyataannya terjadi GAP yang sangat *significant* atas hal tersebut yang dapat mempengaruhi tidak tercapainya target yang telah ditentukan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan di Iraq tentang energi terbarukan, khususnya energi surya, menawarkan sumber energi bersih dan alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi untuk pembangunan berkelanjutan di dunia. Karena profitabilitas dan viabilitasnya, PLTS Atap dengan skema *net-metering* telah diadopsi di banyak negara. Dengan mengembangkan model *financial* untuk menyelidiki parameter kelayakan NPV, IRR dan penghematan tahunan sistem PLTS Atap dengan kapasitas 24 kWp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas sistem PLTS Atap pada bangunan perumahan dan komersial akan menghasilkan pengembalian investasi yang menguntungkan dan *break even point* yang memungkinkan proyek *net metering* PLTS Atap sangat dekat dengan tarif yang diterapkan untuk sektor komersial (10,29 \$/kWh). Di sektor pemerintahan, tarif perlu dinaikkan sebesar 35,1% untuk mencapai *break even point*. Namun, agar skema *net-metering* tersebut menjadi menarik dan

layak dalam skala luas, sangat penting didukung melalui pinjaman lunak dan hibah **(Hunehen, 2020)**.

Penelitian yang dilakukan Tarigan **(Tarigan, 2020)** tentang kebijakan sistem PLTS Atap di Indonesia saat ini khususnya untuk penetapan skema *net metering* bagi pelanggan PLN, termasuk pelanggan residensial, komersial dan industri yang memiliki kelebihan daya dari instalasi PLTS atap. Dengan tinjauan literatur dan simulasi untuk sistem PLTS Atap pada perumahan di Surabaya, Indonesia menghasilkan rata-rata penyinaran matahari pada permukaan *horizontal* di Surabaya bervariasi antara 6,81 kWh/m² dan 4,82 kWh/m² dengan rata-rata 5,54 kWh/m²/hari. *Output* energi sebesar 3 kWp di Surabaya ditemukan sekitar 4.200 kWh/tahun, dengan rata-rata 11,67 kWh/hari. Secara ekonomi dalam kondisi saat ini, investasi PLTS atap *on-grid* akan memberikan 9-10 tahun untuk *payback period*.

Pada tahun 2014 penelitian yang dilakukan Jain **(Jain, 2014)** tentang komponen utama PLTS *on grid* mencakup pemilihan lokasi, pengaturan panel surya, perhitungan energi tahunan dan perhitungan biaya penyusutan untuk setiap tahun antara masa proyek dan per perhitungan biaya modal per unit. Total *cost* dan *benefit* dari pembangkit dihitung karena energi dapat dijual ke *grid* pada saat kebutuhan daya rendah di lokasi. Dengan melakukan studi pra-kelayakan sederhana untuk mendapatkan gambaran tentang jumlah pembangkitan energi oleh sistem dan untuk mendapatkan total area yang dibutuhkan untuk instalasi PLTS dan melakukan analisis keekonomian dari keseluruhan proyek. Kemudian PLTS ini dapat digunakan secara terintegrasi dengan jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban. Hasil dari penelitian PLTS ini dinyatakan layak dengan *payback period* selama 6 tahun 5 bulan.

Dalam penelitian yang dilakukan dalam studi David **(David, 2021)** adalah memperkirakan potensi energi surya di Indonesia dan apakah Indonesia dapat menghasilkan semua kebutuhan energinya dari panel surya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan analisis data dan perhitungan berdasarkan informasi yang tersedia tentang kebutuhan energi Indonesia, potensi energi surya, luas lahan yang tersedia, dan faktor-faktor lain yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi energi surya di Indonesia jauh lebih besar daripada semua sumber energi lain yang ada. Diperkirakan bahwa Indonesia dapat menghasilkan lebih dari 200.000 TWh energi surya per tahun, yang merupakan jumlah yang jauh melebihi kebutuhan energi saat ini. Untuk mencapai kebutuhan energi Indonesia pada tahun 2050, penelitian ini menyimpulkan bahwa diperlukan sekitar 35.000 km² sistem PV surya dengan kapasitas daya 7 TW.

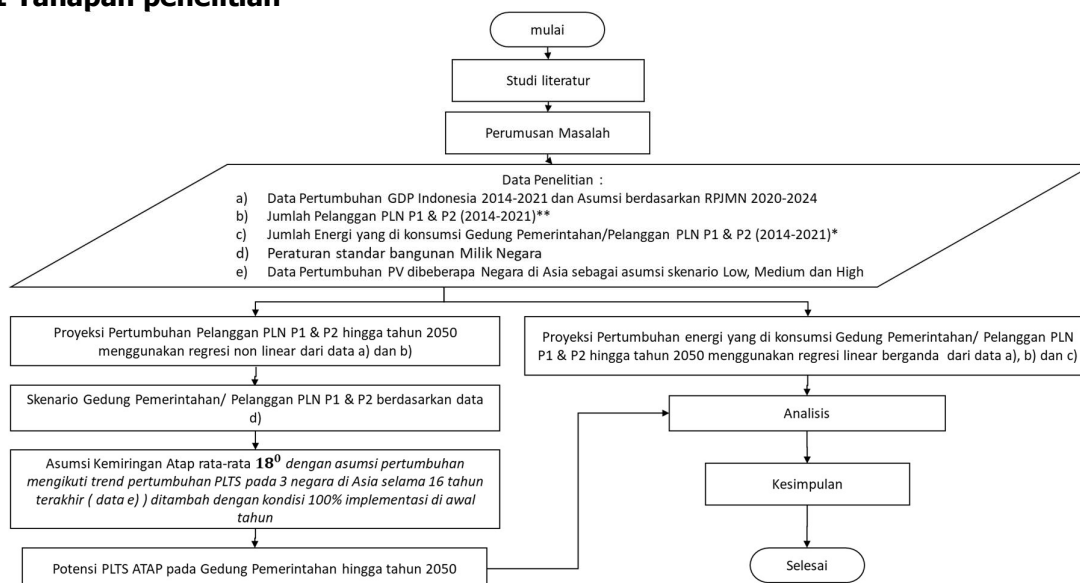
Untuk menganalisis kelayakan pemasangan PLTS Atap pada gedung yang berlokasi di Bangkok, Thailand. Chiradeja **(Chiradeja, 2020)** mengevaluasi kinerja dari segi energi dan perspektif ekonomi. Perbandingan dengan kode energi bangunan Thailand juga telah dilakukan untuk menunjukkan bahwa konsumsi energi secara keseluruhan dengan PLTS Atap sesuai dengan aturan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemasangan PLTS Atap, konsumsi energi tahunan di gedung dapat dikurangi secara signifikan dan dapat mencapai kelayakan ekonomi.

Menurut penelitian Chaianong **(Chaianong, 2019)** Thailand sangat penting menyeimbangkan kepentingan para *stakeholder* untuk menerapkan langkah-langkah mitigasi seperti mekanisme untuk membatasi kapasitas PLTS Atap yang terpasang pada pelanggan ritel, model bisnis untuk perusahaan utilitas, dan kebijakan tarif untuk mengakomodasi penggunaan PLTS Atap secara efektif. Pengadopsian setiap pendekatan tergantung pada kondisi di suatu negara yang mengakibatkan pertukaran antara *stakeholder*. Selaras dengan penelitian ini Indonesia penting menyeimbangkan antara kepentingan PLN dan pelanggannya dalam implementasi PLTS Atap, terutama pada bangunan/gedung pemerintah yang telah ditetapkan.

RUPTL PLN 2021-2030 tidak memasukkan PLTS Atap kedalam tambahan kapasitas PLTS namun diberikan catatan kapasitas PLTS Atap dibatasi sesuai dengan kemampuan sistem PLN, dampaknya terhadap BPP PLN akan meningkatkan beban subsidi dan tidak ada transaksi untuk skema bisnis PLTS Atap (**Kementerian ESDM, 2021**). Namun disisi lain pemerintah masih tetap akan melakukan implementasi PLTS Atap pada bangunan atau gedung pemerintah 30% dari luas atapnya yang mengacu kepada Perpres 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (**Kementerian ESDM, 2017**) dan RUPTL PLN 2021-2030 (**Kementerian ESDM, 2021**). Diperkuat dengan tertundanya implementasi Peraturan menteri ESDM No 26 tahun 2021 tentang PLTS Atap hal ini mengisyaratkan bahwa ada hal-hal yang menjadi pertimbangan yang mengakibatkannya tertunda seperti ketidakpastian dampak *demand forecasting*, kesiapan sistem PLN dan faktor lainnya untuk menerima implementasi PLTS Atap. Terkait hal tersebut dan penelitian terdahulu, perlu dilakukan analisis skenario proyeksi untuk melihat dampak implementasi PLTS Atap terutama pada gedung pemerintah yang dapat mempengaruhi *demand* PLN. Sehingga dengan hasil analisis tersebut dapat memperkuat pertimbangan pemerintah dalam mengimplementasikan PLTS Atap pada 30% luas atap gedung pemerintah.

2. METODE

2.1 Tahapan penelitian



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada Gambar 2 menggunakan data-data berikut:

- Data realisasi pertumbuhan GDP (*Gross Domestic Product*) atau PDB (Produk Domestik Bruto) Indonesia tahun 2014-2021 dari data Badan Pusat Statistik (**Badan Pusat Statistik, 2022**) dan Data asumsi untuk pertumbuhan GDP/PDB Indonesia tahun 2022-2050 pada RPJMN (Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) 2020-2024 (**Republik Indonesia, 2020**).
- Pertumbuhan jumlah pelanggan PLN Tarif P1 (untuk kantor pemerintah sedang dengan daya 6.600 VA hingga 200 kVA) dan Tarif P2 (untuk kantor pemerintah besar dengan daya di atas 200 kVA) tahun 2014-2021 dari Data statistik yang dimiliki PLN.

- c. Data pertumbuhan energi yang dikonsumsi gedung pemerintahan (pelanggan PLN Tarif P1 dan P2) tahun 2014-2021 dari Data statistik yang dimiliki PLN.
- d. Data total luas atap dari pelanggan PLN gedung pemerintah (pelanggan P1 & pelanggan P2), namun untuk saat ini belum adanya data-data tersebut di Indonesia secara lengkap, sehingga untuk pemenuhan data ini penulis mencoba menggunakan pendekatan dengan asumsi persentase persebaran data masing-masing tipe gedung pemerintah berdasarkan standar luas tanah gedung pemerintah pada Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia nomor 248/PMK.06/2011 Tentang Standar eBarang Dan Standar Kebutuhan Barang Milik Negara Berupa Tanah Dan/Atau Bangunan (**Kementerian Keuangan RI, 2011**).
- e. Data tren pertumbuhan implementasi PV di beberapa Negara Asia dari *Statistical Review of World Energy* (**BP, 2022**).

2.2 Perhitungan potensi kapasitas daya PLTS atap pada gedung/bangunan pemerintah yang mempengaruhi Demand PLN

Perhitungan proyeksi pertumbuhan pelanggan PLN P1 dan P2 tahun 2022-2050 dari data statistik pertumbuhan pelanggan PLN P1 dan P2 tahun 2014-2021 dengan menentukan metode regresi yang tepat digunakan untuk menghitung proyeksi pertumbuhannya (menggunakan regresi linear atau regresi non linear). Setelah metode regresi yang tepat didapatkan akan mengikuti skenario proyeksi pertumbuhan PLTS Atap yang akan ditentukan. Yang selanjutnya hasil dari data pertumbuhan setiap tahun tersebut dikalikan dengan rata-rata potensi PLTS Atap per gedung pemerintah menggunakan asumsi sebagai berikut:

- a. Asumsi persebaran gedung/bangunan pemerintah dengan patokan luas tanah dari gedung pemerintah berdasarkan Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia No 248/PMK.06/2011 tentang Standar Barang Dan Standar Kebutuhan Barang Milik Negara Berupa Tanah Dan/Atau Bangunan (**Kementerian Keuangan RI, 2011**).
- b. Asumsi seluruh gedung menggunakan atap prisma dengan sudut kemiringan 18° untuk mendapatkan potensi pertumbuhan kapasitas total daya PLTS Atap atas implementasi PLTS Atap pada 30% luas atap gedung pemerintah dengan perhitungan luas atap total menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$Luas\ Atap\ total = \frac{P \times l}{\cos\alpha} \tag{1}$$

- c. Asumsi penggunaan panel surya dalam penelitian ini adalah tipe SANKELUX SPV 1610 – 300 *Monocrystalline* 300 Wp yang telah diuji dan disertifikasi B2TKE (Balai Besar Teknologi Konversi Energi) memenuhi standar SNI 04-3850.2-1995 dan mendapatkan sertifikat TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri) dari Kementerian Perindustrian dengan spesifikasi sesuai dengan Tabel 1 (**Sankelux, 2022**).

Tabel 1. Elektrikal Data untuk Panel Surya tipe SANKELUX SPV 1610 – 300 Monocrystalline

Besaran	Satuan	Nilai
Daya	Wp	300
Tegangan Daya Maksimum (V_{pm})	Watt	37,7
Arus Daya Maksimum (I_{pm})	Ampere	8,4
Tegangan Terbuka (V_{oc})	Volt	45,6
Arus Hubung Singkat (I_{sc})	Ampere	8,8
Tahanan Serie (R_s)	Ohm	0,4
Tahanan Paralel (R_{sh})	Ohm	193,0
Fill Factor	FF	0,7
Effisinesi (Eff)	%	16,4

- d. Asumsi penggunaan inverter pada penelitian ini adalah Fronius Symo yang memiliki spesifikasi yang digambarkan pada Tabel 2 (**Fronius, 2022**) berikut:

Tabel 2. Efisiensi dari Inverter Fronius Symo

EFFICIENCY	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. efficiency	98.0%					

Menghitung energi listrik yang dibangkitkan dari sekumpulan panel surya yang disusun baik secara seri maupun paralel dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) berikut:

$$W = PV_{Area} \times G_{AV} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out} \quad (2)$$

Dimana :

- W = energi listrik yang dibangkitkan perhari (kWh)
- PV_{Area} = Luas area array (m²)
- G_{AV} = Nilai radiasi pancaran matahari (kWh/m²)
- η_{PV} = Efisiensi Modul Surya (%)
- TCF = *Temperature correction factor*
- η_{out} = Efisiensi Output (%)

Panel surya beroperasi maksimal pada temperatur 25°C (suhu standar), kenaikan temperatur yang lebih tinggi akan menurunkan daya *output*. Setiap kenaikan temperatur 1°C dari suhu standar akan mengakibatkan berkurangnya daya *output* sekitar 0,5%. Menurut Santiari (**Santiari, 2011**), untuk menghitung besar daya *output* yang berkurang pada saat temperatur di sekitar mengalami kenaikan dari temperatur 25°C, dengan menggunakan Persamaan (3) berikut:

$$P_{Saat\ t\ naik\ ^\circ C} = 0,5\% \text{ per } ^\circ C \times P_{MPP} \times \Delta t \quad (3)$$

Dengan:

- $P_{saat\ t\ naik\ ^\circ C}$: daya pada saat temperatur naik °C dari temperatur 25°C
- P_{MPP} : daya maksimal yang dihasilkan panel surya
- Δt : kenaikan suhu

Daya maksimum yang dihasilkan panel surya pada saat temperatur naik menjadi t °C dari temperatur 25°C dihitung dengan Persamaan (4) berikut:

$$P_{MPP\ Saat\ t\ naik\ menjadi\ t\ ^\circ C} = P_{MPP} - P_{Saat\ t\ naik\ ^\circ C} \quad (4)$$

P_{MPP} saat t naik menjadi t °C adalah daya maksimum yang dihasilkan panel surya pada saat temperatur di sekitar panel naik menjadi t °C dari temperatur 25°C. Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) dihitung dengan Persamaan (5) berikut:

$$TCF = \frac{P_{MPP\ saat\ naik\ menjadi\ t\ ^\circ C}}{P_{MPP}} \quad (5)$$

- e. Asumsi menggunakan data hasil perhitungan di Stasiun Pengamatan BMKG tahun 2015 untuk rata-rata suhu maksimum di Indonesia (**BMKG, 2017**) pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Suhu Minimum, Rata-rata dan Maksimum di Indonesia

Provinsi	Stasiun BMKG	2015		
		Minimum	Rata-Rata	Maksimum
Aceh	Sultan Iskandar Muda	19,8	27,1	36,7
Sumatera Utara	Kualanamu	18,6	27,4	36,8
Sumatera Barat	Sicincin	19,8	26,5	32,9
Riau	Sultan Syarif Kasim II	20,6	27,2	35,2
Jambi	Sultan Thaha	21,0	27,0	35,2
Sumatera Selatan	Kenten	22,1	27,7	37,2
Bengkulu	Pulau Baai	18,8	27,0	35,2
Lampung	Radin Inten II	20,2	27,1	37,2
Kepulauan Bangka Belitung	Depati Amir	20,6	27,3	34,4
Kepulauan Riau	Kijang	21,6	27,0	33,6
DKI Jakarta	Kemayoran	22,7	28,4	35,2
Jawa Barat	Bandung	15,0	23,5	34,0
Jawa Tengah	Semarang	20,6	28,5	39,5
DI Yogyakarta	Yogyakarta	18,0	26,1	35,5
Jawa Timur	Juanda	20,5	28,0	35,6
Banten	Serang	19,0	27,3	35,4
Bali	Ngurah Rai	20,0	27,3	34,0
Nusa Tenggara Barat	Bandara Int. Lombok	17,0	26,1	36,6
Nusa Tenggara Timur	Lasian	21,7	27,5	33,33
Kalimantan Barat	Supadio	21,5	26,9	35,6
Kalimantan Tengah	Tjilik Riwut	19,6	27,7	35,8
Kalimantan Selatan	Banjarbaru	19,1	27,0	38,0
Kalimantan Timur	Temindung	22,2	27,9	36,0
Kalimantan Utara	Tanjung Harapan	22,2	27,6	36,6
Sulawesi Utara	Kayuatu	17,6	27,0	37,0
Sulawesi Tengah	Mutiara SIS Al- Jufrie	17,0	28,4	38,5
Sulawesi Selatan	Maros ⁴	19,2	27,3	37,0
Sulawes Tenggara	Kendari	17,8	26,9	35,4
Gorontalo	Djalaluddin	18,0	27,3	36,0
Sulawesi Barat	Majene	20,4	27,9	35,6
Maluku	Pattimura	20,1	26,5	35,3
Maluku Utara	Sultan Babullah	21,6	27,3	34,2
Papua Barat	Rendani	21,8	27,4	33,8
Papua	Angkasapura	20,9	27,8	35,6
Rata-rata*		19,9*	27,2*	35,7*

2.3 Penentuan skenario proyeksi pertumbuhan PLTS Atap di Indonesia

Dalam penentuan skenario proyeksi pertumbuhan PLTS Atap di Indonesia, asumsi tahun awal implementasi dan pertumbuhan PLTS Atap diambil peneliti dari tren data pertumbuhan implementasi PV di tiga Negara Asia dari *Statistical Review of World Energy (BP, 2022)* dengan pendekatan secara geografis di negara Asia tersebut merupakan regional yang sama dengan Indonesia sebagai kebutuhan analisis lebih lanjut untuk dampak implementasi PLTS Atap pada 30% luas atap gedung atau bangunan gedung pemerintah.

2.4 Analisis Dampak Terhadap Demand PLN

Analisis yang dilakukan untuk dampak terhadap *Demand* PLN, penulis menggunakan data hasil potensi rata-rata kapasitas daya PLTS atap pada gedung atau bangunan pemerintah dibandingkan dengan data pertumbuhan energi yang dikonsumsi oleh pelanggan PLN P1 dan P2. Proyeksi pertumbuhan energi yang dikonsumsi oleh pelanggan PLN P1 dan P2 hingga tahun 2050 menggunakan regresi linear berganda dengan acuan data proyeksi GDP dan pertumbuhan pelanggan hingga 2050.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

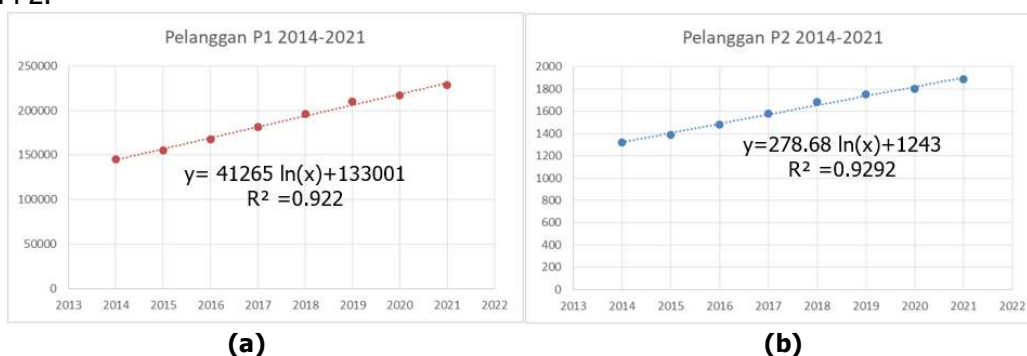
3.1 Potensi Kapasitas Daya PLTS Atap pada Gedung Pemerintah yang mempengaruhi *Demand* PLN

Untuk menentukan proyeksi pertumbuhan pelanggan PLN P1 dan P2 tahun 2022- 2050 terlebih dahulu penulis menentukan metode regresi yang tepat untuk melakukan proyeksi untuk pertumbuhan pelanggan tersebut dengan membandingkan hasil dari dua metode regresi linear atau non linear yang digambarkan pada Gambar 3(a) untuk pelanggan PLN P1 dan Gambar 3(b) untuk pelanggan PLN P2.



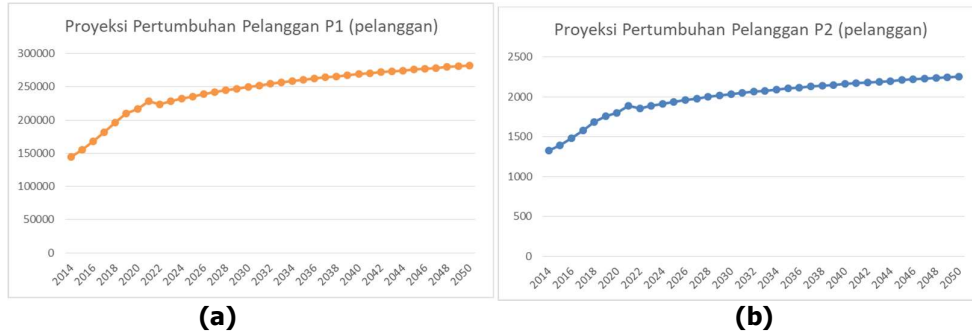
Gambar 3. (a) Perbandingan Proyeksi Pertumbuhan Pelanggan P1 menggunakan Regresi Linear dan Non-Linear; (b) Perbandingan Proyeksi Pertumbuhan Pelanggan P2 menggunakan Regresi Linear dan Non Linear

Dari Gambar 3(a) dan 3(b) menurut penulis untuk pertumbuhan pelanggan lebih tepat menggunakan regresi *non linear* dengan pertumbuhan tidak menanjak secara *linear* dan lebih mendekati kondisi *real* walaupun R^2 yang didapat dari regresi *linear* lebih tinggi dibandingkan *non linear* hal ini juga didukung dengan pendapat Draper dan Smith (**Draper, 1998**) tingkat akurasi regresi *non linear* lebih baik dari *linear*. Sehingga pertumbuhan pelanggan PLN P1 dan P2 tahun 2014-2021 dengan persamaan regresi *non linear* yang didapat menggunakan fungsi *trendline* pada aplikasi *microsoft excel* didapat grafik dan persamaan regresi sesuai yang digambarkan pada Gambar 4(a) untuk pelanggan PLN P1 dan Gambar 4(b) untuk pelanggan PLN P2.



Gambar 4. (a) Grafik dan Persamaan Regresi Non Linear untuk Pertumbuhan Pelanggan PLN P1; (b) Grafik dan Persamaan Regresi Non Linear untuk Pertumbuhan Pelanggan PLN P2

Sehingga dari kedua persamaan yang didapatkan di Gambar 4(a) dan Gambar 4(b) dihitung proyeksi pertumbuhan pelanggan PLN P1 dan P2 hingga tahun 2050 dengan hasil perhitungannya digambarkan pada Gambar 5(a) untuk proyeksi pertumbuhan pelanggan PLN P1 dan Gambar 5(b) untuk proyeksi pertumbuhan pelanggan PLN P2.



Gambar 5. (a) Proyeksi Pertumbuhan Pelanggan PLN P1 hingga tahun 2050; (b) Proyeksi Pertumbuhan Pelanggan PLN P2 hingga tahun 2050

Untuk menghitung potensi pertumbuhan kapasitas total daya PLTS Atap terhadap implementasi PLTS Atap gedung pemerintah dilakukan perhitungan rata-rata potensi PLTS Atap menggunakan asumsi persebaran gedung pemerintah dengan patokan luas tanah dari gedung pemerintah berdasarkan Peraturan menteri keuangan RI No 248/PMK.06/2011 yang digambarkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Luas Gedung Pemerintah (m²)

Tipe Pelanggan	Ukuran Luas Gedung Pemerintah (m ²)		
P1	100	120	200
Komposisi P1	85%	10%	5%
Rata-rata Luas Gedung P1	35,67		
P2	350	600	1000
Komposisi P2	98%	1%	1%
Rata-rata Luas Gedung P2	119,67		

Berdasarkan data BMKG rata-rata suhu maksimum di Indonesia sebesar 35,7 °C. Berdasarkan spesifikasi panel surya pada Tabel 1 modul surya berkapasitas 300 Wp dan efisiensi sebesar 16,4% sehingga daya yang hilang saat temperatur disekitar panel surya meningkat 10,7 °C dari suhu standar (25 °C) dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) :

$$P_{Saat\ t\ naik\ 10,7\ ^\circ C} = 0,5\% \text{ per } ^\circ C \times P_{MPP} \times \Delta t = 0,5\% \text{ per } ^\circ C \times 300\ W \times 10,7\ ^\circ C = 16,06\ W$$

Untuk daya maksimum yang dihasil panel surya pada saat temperatur naik menjadi 35,7 °C dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$P_{MPP\ Saat\ t\ naik\ menjadi\ t\ ^\circ C} = P_{MPP} - P_{Saat\ t\ naik\ ^\circ C}$$

$$P_{MPP\ Saat\ t\ naik\ menjadi\ 10,7\ ^\circ C} = 300\ W - 16,06\ W = 283,94\ W$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya maksimum yang dihasilkan dari panel surya saat temperatur naik menjadi 35,7 °C, maka nilai faktor koreksi temperatur dapat dihitung menggunakan Persamaan (5).

Analisis Dampak Kebijakan Implementasi PLTS Atap pada Gedung Pemerintah menggunakan Analisis Skenario

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}C}}{P_{MPP}} = \frac{283,94}{300 W} = 0,95$$

Besar efisiensi *output* berdasarkan nilai efisiensi inverter saja dikarenakan menggunakan PLTS *On Grid* yaitu sebesar 98% (sesuai Tabel 2).

Sehingga dari hasil perhitungan di atas dapat dilakukan perhitungan rata-rata potensi PLTS Atap untuk masing-masing pelanggan PLN P1 dan P2 dengan perhitungannya digambarkan pada Tabel 5 sesuai Persamaan (2) dan Persamaan (1) menggunakan nilai asumsi iradiasi di Indonesia sesuai penelitian Dang sebesar 1600 kWh/m² (Dang, 2019).

Tabel 5. Rata-rata potensi PLTS Atap per Pelanggan

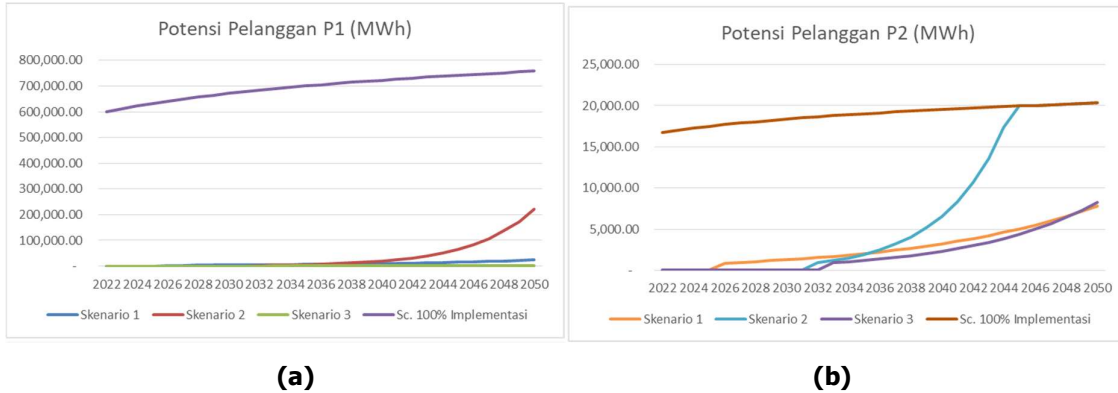
Parameter		Pelanggan P1	Pelanggan P2
kemiringan atap	a	18	18
cos dari kemiringan	b = cos (a)	0.951056516	0.951056516
rata-rata luas gedung (m²)	c	35.67	119.67
rata-rata luas atap/pelanggan (Persamaan (1)) (m²)	d = c / b	37.51	125.83
30% luas atap efektif (m²)	e = rundown(30%*d)	11	37
asumsi iradiasi (kWh/m²) ^{a (Dang, 2019)}	f	1600	1600
asumsi efisiensi modul surya	g	0.164	0.164
asumsi Temperature Correction Factor	h	0.95	0.95
asumsi efisiensi output	i	0.98	0.98
Potensi Daya Output (kWh)/pelanggan	j = e*f*g*h*i	2687.24	9038.89
Potensi Daya Output (MWh)/pelanggan	k= j/1000	2.69	9.04

Untuk perhitungan selanjutnya perlu ditentukan skenario pertumbuhan PLTS Atap, skenario yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan batasan tahun implementasi dan pertumbuhan pertahun setelah implementasi PLTS Atap yang telah ditentukan berdasarkan tren pertumbuhan implementasi PV di beberapa negara Asia (BP, 2022) dengan hasil skenario yang digunakan digambarkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Skenario Pertumbuhan PLTS Atap

Skenario	Tahun Mulai Implementasi	Pertumbuhan Per tahun Setelah Implementasi
1	Tahun ke 5 (2026)	8.88 %
2	Tahun ke 11 (2031)	26.91 %
3	Tahun ke 12 (2032)	13.11 %
100% Implementasi	Tahun ke 1 (2022)	Mengikuti pertumbuhan Pelanggan Gedung Pemerintah

Dari data proyeksi pertumbuhan pelanggan, skenario pertumbuhan dan rata-rata potensi PLTS Atap per gedung pemerintah sehingga mendapatkan potensi kapasitas daya PLTS atap pada gedung pemerintah yang dapat mempengaruhi *demand* PLN yang digambarkan Gambar 6(a) untuk potensi pelanggan PLN P1 dan Gambar 6(b) untuk potensi pelanggan PLN P2.



Gambar 6. (a) Potensi Pelanggan P1 tahun 2022-2050 per skenario; (b) Potensi Pelanggan P2 tahun 2022-2050 per skenario

Dari hasil perhitungan di atas didapat potensi permasing-masing skenario pada Tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7. Potensi Pelanggan P1 dan P2 tahun 2022-2050 per skenario

Skenario	Potensi Pelanggan P1 (MWh)	Potensi Pelanggan P2 (MWh)
Skenario 1	2.567,32 – 23.370,18	884,82 - 7.837,35
Skenario 2	2.735,64 – 221.079,77	932,61 - 20.331,10
Skenario 3	275,84 – 2.461,30	939,07 - 8.254,15
Sc. 100% Implementasi	601.053,19 – 757.816,08	17.770,06 – 20.331,10

Hanya potensi pelanggan P2 pada skenario 2 yang dapat menyentuh potensi skenario 100% implementasi pada tahun 2045, sedangkan untuk skenario lainnya tidak ada yang dapat mencapai potensi 100% implementasi baik pelanggan P1 ataupun P2.

3.2 Dampak Terhadap Demand PLN

Sebelum melakukan perhitungan dampak terhadap demand PLN diperlukan proyeksi pertumbuhan energi yang dikonsumsi oleh pelanggan PLN P1 dan P2 hingga tahun 2050 menggunakan regresi linear berganda dengan acuan data proyeksi GDP dan pertumbuhan pelanggan hingga 2050 menggunakan *analysis tools* pada *microsoft excel* didapatkan keluaran sebagai berikut:

1. Energi yang dikonsumsi pelanggan P1

Tabel 8. Summary output untuk regresi analisis energi yang dikonsumsi Pelanggan P1

Regression Statistics		Coefficients	
Multiple R	0,990230286	Intercept	403,9066561
R Square	0,98055602	PDB	0,580902155
Adjusted R Square	0,972778428	Pelanggan	0,010331496
Standard Error	51,91330542		
Observations	8		

Sehingga didapatkan Persamaan (8) untuk total energi yang dikonsumsi oleh pelanggan P1 pertahunnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Energi yang dikonsumsi Pelanggan P1} \\ & = (0,58 * PDB) + (0,01 * \text{Jumlah Pelanggan}) + 403,91 \end{aligned} \quad (8)$$

2. Energi yang dikonsumsi pelanggan P2

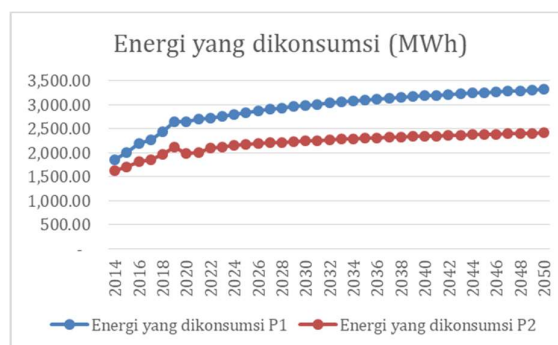
Tabel 8. Summary output untuk regresi analisis energi yang dikonsumsi Pelanggan P2

Regression Statistics		Coefficients	
Multiple R	0,934019066	Intercept	536,0259093
R Square	0,872391616	PDB	12,18661553
Adjusted R Square	0,821348263	Pelanggan	0,80634455
Standard Error	68,96363863		
Observations	8		

Sehingga didapatkan Persamaan (9) untuk total energi yang dikonsumsi oleh pelanggan P2 pertahunnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Energi yang dikonsumsi Pelanggan P2} \\ & = (12,19 * PDB) + (0,81 * \text{Jumlah Pelanggan}) + 536,02 \end{aligned} \quad (9)$$

Dengan menggunakan Persamaan (8) dan Persamaan (9) didapatkan proyeksi energi yang dikonsumsi pelanggan P1 dan P2 tahun 2022-2050 seperti yang digambarkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Proyeksi Energi yang dikonsumsi Pelanggan PLN P1 dan P2

Proyeksi energi yang dikonsumsi tersebut diasumsikan sebagai kondisi *business as usual*/BaU (Gambar 7) dibandingkan dengan potensi kapasitas daya PLTS Atap yang telah didapatkan sebelumnya (Gambar 6(a) untuk potensi pelanggan PLN P1 dan Gambar 6(b) untuk potensi pelanggan PLN P2), sehingga mendapatkan dampak terhadap *demand* PLN yang digambarkan pada Gambar 8(a) untuk dampak *demand* pelanggan PLN P1 dan Gambar 8(b) untuk dampak *demand* pelanggan PLN P2.



Gambar 8. (a) Grafik Dampak Demand Pelanggan PLN P1; (b) Grafik Dampak Demand Pelanggan PLN P2

Dari Gambar 8(a) dampak kebijakan implementasi PLTS Atap pada gedung pemerintah terhadap *demand* Pelanggan PLN P1 didapat bahwa *demand* pelanggan PLN P1 dapat terpenuhi secara mandiri oleh pelanggan PLN P1 yang mengimplementasikan PLTS Atap untuk tiga skenario yaitu dimulai pada tahun 2028 untuk skenario 1, dimulai pada tahun 2033 untuk skenario 2 dan dimulai pada tahun 2022 untuk skenario 100% implementasi, sedangkan skenario 3 akan dapat memenuhi demand pelanggan PLN P1 diatas tahun 2050.

Sedangkan dari Gambar 8(b) dampak kebijakan implementasi PLTS Atap pada gedung pemerintah terhadap *demand* Pelanggan PLN P2 didapat bahwa *demand* pelanggan PLN P2 dapat terpenuhi secara mandiri oleh pelanggan PLN P2 yang mengimplementasikan PLTS Atap untuk seluruh skenario yaitu dimulai pada tahun 2037 untuk skenario 1, dimulai pada tahun 2036 untuk skenario 2, dimulai pada tahun 2041 untuk skenario 3 dan dimulai pada tahun 2022 untuk skenario 100% implementasi.

3.3 Diskusi Hasil Penelitian

Hasil perhitungan potensi pelanggan dan dampak kebijakan implementasi PLTS Atap minimal 30% dari luas atap gedung pemerintah yang menggunakan beberapa skenario proyeksi pertumbuhan digambarkan pada Tabel 9 berikut :

Tabel 9. Hasil Perhitungan Skenario Proyeksi

Skenario	Tahun Mulai Implementasi	Pertumbuhan Per tahun Setelah Implementasi	Potensi Pelanggan P1 (MWh)	Potensi Pelanggan P2 (MWh)	Dampak Demand Pelanggan P1*	Dampak Demand Pelanggan P2*
1	Tahun ke 5 (2026)	8.88 %	2.567,32 – 23.370,18	884,82 - 7.837,35	2028	2037
2	Tahun ke 11 (2031)	26.91 %	2.735,64 – 221.079,77	932,61 - 20.331,10	2033	2036
3	Tahun ke 12 (2032)	13.11 %	275,84 – 2.461,30	939,07 - 8.254,15	Tidak Terpenuhi	2041
100% Implementasi	Tahun ke 1 (2022)	Mengikuti pertumbuhan Pelanggan Gedung Pemerintah	601.053,19 – 757.816,08	17.770,06 – 20.331,10	2022	2022

Catatan : * Tahun Terpenuhi Secara Mandiri/Tidak Terpenuhi Secara Mandiri

Dari Tabel 9 dampak kebijakan implementasi PLTS Atap minimal 30% dari luas atap gedung pemerintah berdampak kepada *demand* PLN khususnya pelanggan P1 dan P2 dimana dari seluruh skenario mengakibatkan pelanggan P1 dan P2 dapat memenuhi kebutuhan listriknya

secara mandiri pada beberapa tahun setelah implementasi sebelum tahun 2050 kecuali pelanggan P1 untuk skenario 3.

4. KESIMPULAN

Potensi PLTS Atap pada gedung pemerintah yang memasang PLTS Atap minimal 30% dari luas atap gedung (mengacu pada Perpres 22/2017 tentang RUEN) hingga tahun 2050 Pelanggan PLN P1 sebesar 2.567,32 MWh hingga 757.816,08 MWh dan Pelanggan PLN P2 Sebesar 884,82 MWh hingga 20.331,10 MWh. Dampak kebijakan implementasi PLTS Atap minimal 30% dari luas atap gedung pemerintah berdampak kepada *demand* PLN khususnya pelanggan P1 dan P2 dimana dari seluruh skenario mengakibatkan pelanggan P1 dan P2 dapat memenuhi kebutuhan listriknya secara mandiri pada beberapa tahun setelah implementasi sebelum tahun 2050 kecuali pelanggan P1 untuk skenario 3.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT PLN (Persero) dan ESDM atas diskusi dan data-data yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Pusat Statistik. (2022). Pertumbuhan Ekonomi Indonesia. Retrieved from www.bps.go.id
- BMKG (2017, Nov 2014) Suhu Minimum, Rata-Rata, dan Maksimum di Stasiun Pengamatan BMKG (°C), 2011-2015. Retrieved from www.bps.go.id/statictable/2017/02/09/1961/suhu-minimum-rata-rata-dan-maksimum-di-stasiun-pengamatan-bmkg-oc-2011-2015.html
- BP. (2022). *Statistical Review of World Energy*. Retrieved from www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html
- Chaianong, A., Bangviwat, A., & Menke, C. (2019). Cost–Benefit Analysis of Rooftop PV Systems on Utilities and Ratepayers in Thailand. *Energies* 2019, 12(12), 2265. <https://doi.org/10.3390/en12122265>
- Chiradeja, P. . (2020). Feasibility Study on Installation of Rooftop Photovoltaic System in Complied with Thailand Energy Building Code. *2020The 3rd International Conference on Electrical Engineering and Green Energy (CEEGE 2020)*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018601004>
- Dang, M. Q. (2019). *Solar Energy Potential in Indonesia. 19th International Conference of Young Scientist*, (pp. 199).
- David, F. S., Andrew, B., Matthew, S., Bin, L., Cheng, C., & Liam, H. (2021). Indonesia's Vast Solar Energy Potential. *Energies* 2021, 14(17), 5424. <https://doi.org/10.3390/en14175424>

- Draper, N., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*, Third Edition. *John Wiley & Sons*.
<https://doi.org/10.1002/9781118625590>
- Fronius. (2022, Aug 8). Fronius Symo 3.0-3-M. Retrieved from www.fronius.com
- Hunehen, Q. . (2020). Feasibility Study of Installing Rooftop PV System with Net-Metering Scheme in Iraq. *Journal of Power and Energy Engineering*, 8, 55-65.
<https://doi.org/10.4236/jpee.2020.810005>
- Jain, A. . (2014). Feasibility Study of Grid Connected Rooftop Based Solar Power Plant. *International Journal Of Technical Research & Science*.
- Kementerian ESDM . (2018). Peraturan Menteri ESDM No 49 tahun 2018 tentang PLTS Atap. Jakarta.
- Kementerian ESDM. (2017). Rencana Umum Energi Nasional 2015-2050. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian ESDM. (2021). RUPTL PLN 2021-2030. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Keuangan RI. (2011). Standar Barang dan Standar Kebutuhan Barang Milik Negara Berupa Tanah dan/atau Bangunan.
- Kementrian PPN/BAPPENAS (2019). Indonesia 2045; Berdaulat, Maju, Adil dan Makmur. Jakarta: Kementrian PPN/BAPPENAS.
- Republik Indonesia. (2020). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Republik Indonesia. (2021). Undang-undang (UU) 7/2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Republik Indonesia. (2022). *Enhanced Nationally Determined Contribution*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Sankelux. (2022, Aug 8). SANKELUX SPV 1610 – 300 *Monocrystalline* 300 Wp. Retrieved from rekasurya.com/product_docs/upload/22224.pdf
- Santiari, Dewa Ayu Sri. (2011). Studi Pemanfaatan PLTS sebagai Catu Daya Tambahan pada Industri Perhotelan di Nusa Lembongan Bali. *Teknik Elektro Universitas Udayana*.
- Tarigan, E. (2020). Rooftop PV System Policy and Implementation Study for a Household in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 110-115.
<https://doi.org/10.32479/ijeep.9539>