

## Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Upaya Pengurangan Emisi Di Wilayah Provinsi Riau

Sanya Gautami<sup>1\*</sup>, Mubarak<sup>2</sup>, Yusni Ikhwan Siregar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Stasiun Meteorologi Sultan Syarif Kasim II Pekanbaru, Bandar Udara Sultan Syarif Kasim II, Maharatu, Marpoyan Damai, Pekanbaru, Riau 28288

<sup>2,3</sup> Program Magister Ilmu Lingkungan PPs-Unri, Jl. Pattimura No. 9 Gobah Pekanbaru

\*Correspondent email : [sanya.gautami@bmkgo.go.id](mailto:sanya.gautami@bmkgo.go.id)

(Diterima 16 April 2023|Disetujui 24 April 2023|Diterbitkan 30 April 2023)

**Abstract.** This research focus on assessing the spatial distribution area of solar energy potential in Pekanbaru using ECMWF ERA5 from 2012-2022 and analysing the environmental, social, and economic aspects based on solar energy utilisation. Using overlay and intersection techniques in ArcGIS, Pekanbaru's average solar energy potential is around 5,0-5,5 kWh/m<sup>2</sup>, and around 438.227-482.050 MWh/year of photovoltaic energy can be harvested from rooftop photovoltaic installation. Moreover, by utilising rooftop photovoltaic systems, the potential of CO<sub>2</sub> emission can be reduced at around ±411.934-453.127 tonCO<sub>2</sub>/year, and it is predicted to reduce CO<sub>2</sub> emission from households in 2022 by up to 52%. On the other hand, a questionnaire is used to describe the level of the community's understanding related to the beneficial effects of solar energy. Based on 100 respondents, it is found that around 58% of people don't understand or are aware of rooftop photovoltaic, 20% of households think that the system is not necessary or urgently needed, and 22% of respondents argue that the high cost of installation is the primary consideration. The results reveal that the support from local governments is required for developing PV system as this system is one of the possible solutions to reduce greenhouse gases (GHGs).

**Keywords:** Solar Energy, Solar Irradiation, Photovoltaic, CO<sub>2</sub> emission

### PENDAHULUAN

Secara global, emisi CO<sub>2</sub> dari sektor listrik mengalami peningkatan hampir 80% sebagai penyumbang emisi dimana sebagian besar karena peningkatan pesat pembangkit berbahan bakar batu bara di Asia (*International Energy Agency*, 2021). Sekitar dua pertiga dari emisi gas rumah kaca global terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil untuk energi, digunakan untuk pemanas, listrik, transportasi dan industri. Oleh sebab itu kebutuhan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dari produksi energi dan kegiatan industri telah menjadi perhatian di seluruh penjuru dunia (Widodo *et al*, 2020). Energi Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi sangat penting untuk segera direalisasikan untuk memenuhi komitmen negara Indonesia dalam *Conference of Parties (COP)* ke-26 yang berupaya untuk menepuh capaian target penurunan emisi karbon maupun *Net Zero Emission* (netralitas karbon) agar tercapai pada tahun 2060 bahkan lebih awal (Wardhana, 2020).

Selain potensi sumberdaya alam yang besar, potensi energi terbarukan di wilayah Indonesia juga sangat berlimpah. Total potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Indonesia yang setara dengan 442 GW dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, dimana energi surya memiliki potensi terbesar yaitu sekitar 207.8 GWp. Namun besarnya potensi energi surya yang dimiliki oleh Indonesia tidak sebanding dengan pemanfaatannya yaitu hanya berkisar 0.07% (Kementerian ESDM, 2021). Pemanfaatan energi surya secara global dikonversi menjadi tenaga listrik melalui teknologi fotovoltaik (Tambunan, 2020), dimana penggunaannya dalam sektor ketenagalistrikan akan terus meningkat penggunaannya tanpa terkecuali di negara Indonesia. Pengubahan energi matahari menjadi energi listrik selama ini masih belum maksimal dikarenakan oleh beberapa kendala, salah satunya yaitu mahalnya biaya investasi yang berakibat terhadap mahalnya harga listrik yang dihasilkan, sehingga memiliki nilai yang kurang ekonomis jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Afif, 2022).

Dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diperlukan perencanaan yang matang dan intensif sehingga biaya yang akan diinvestasikan akan menghasilkan *output* yang sebanding, dimana kajian mengenai pemanfaatan energi surya perlu dilakukan untuk mendukung perencanaan tersebut. Pemanfaatan radiasi matahari belum banyak dilakukan kajian dalam tinjauan iklim, terutama di Indonesia, dikarenakan minimnya jaringan pengukuran radiasi matahari yang tersedia (Sianturi, 2021).

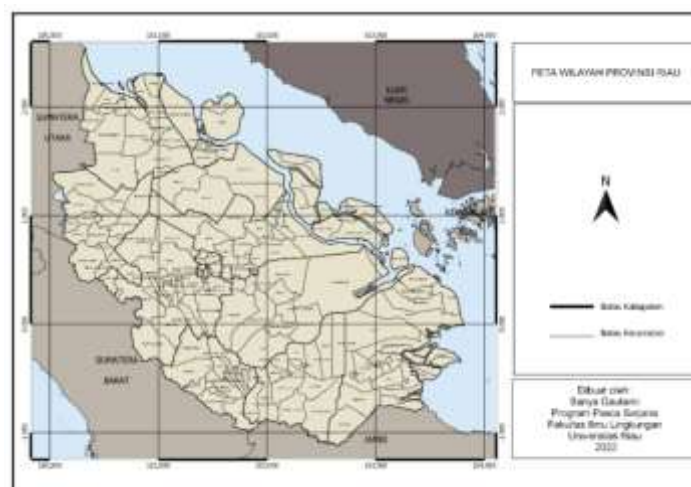
Untuk melengkapi kebutuhan data series panjang yang berguna untuk analisis lebih rinci dan melengkapi data yang kurang akibat ketidakterseediaanya data hasil pengamatan langsung maka perlu dilakukan alternatif pemanfaatan data reanalysis. Penggunaan data reanalysis merupakan salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan data pengamatan yang tersedia maupun mahalnnya biaya untuk memperoleh data yang berasal dari pengamatan langsung, serta dapat menjadi salah satu solusi atas rendahnya resolusi spasial yang diperoleh penelitian terdahulu. Salah satu data lembaga yang menyediakan data reanalysis adalah *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Data reanalysis ECMWF ini mampu merekonstruksi ulang kondisi atmosfer di masa lalu dengan cara mengintegrasikan berbagai data terutama data pengamatan cuaca konvensional dan data penginderaan jauh/satelit cuaca (Ritter *et al*, 2015).

Rumbayan, *et al* (2012), Sianturi, *et al* (2020) serta Suropto dan Fathoni (2021) melakukan kajian mengenai pemanfaatan energi surya pada wilayah Indonesia secara umum, namun identifikasi potensi energi yang diperoleh belum mendetail pada suatu wilayah tertentu. Provinsi Riau yang merupakan daerah dataran rendah serta berada di sekitar garis ekuator salah satu faktor pendukung potensi pengembangan pemanfaatan energi solar di wilayah Provinsi Riau. Pertumbuhan jumlah konsumsi energi listrik di Provinsi Riau tahun 2019 diperkirakan mencapai 4.646,79 GWh, dimana hal ini masih belum diimbangi dengan pasokan energi listrik yang ada. Produksi energi listrik di Provinsi Riau yang diproduksi hanya berkisar 1271,43 GWh, yang berasal dari PLTMG Duri 504,55 GWh, PLTG Teluk Lembu 97,85 GWh, PLTG Duri 20,26 GWh, PLTA Koto Panjang 617,02 GWh, dan PLTU Tembilahan 31,75 GWh. Untuk menutupi kekurangan kebutuhan konsumsi listrik, pemerintah Provinsi Riau melakukan penyewaan genset pihak swasta hingga 1.406,62 GWh dan selebihnya untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi listrik harus dipasok dari jaringan interkoneksi Sumatera (Susilo, 2021).

Yani (2021) telah melakukan evaluasi terhadap pelaksanaan tugas Dinas Energi dan Sumberdaya Mineral (DESDM) Provinsi Riau dalam pengawasan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya terpusat dimana salah satu hasil penelitian tersebut adalah pentingnya kualitas pengawasan dan perencanaan yang matang terhadap pembangunan listrik tenaga surya terpusat sebagai satu modal utama untuk keberhasilan suatu program. Untuk itu diperlukan analisis yang tepat dan akurat guna menentukan lokasi potensi energi surya skala besar sehingga dapat mendukung adanya pembangunan energi ramah lingkungan sebagai salah satu upaya pengurangan emisi di wilayah Provinsi Riau. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menghasilkan rekomendasi wilayah yang memiliki potensi pemanfaatan energi surya serta perhitungan pengurangan emisi sebagai manfaat dari pembangunan PLTS serta menganalisa kaitan pemanfaatan energi surya terhadap aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi sebagai alternatif EBT di wilayah Provinsi Riau umumnya dan Kota Pekanbaru khususnya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengkaji pada wilayah Provinsi Riau yang terletak antara 01°05'00" LS sampai 02°25'00" LU dan 100°00'00" sampai 105°05'00" BT (BPS, 2022) dimana peta administrasi Provinsi Riau dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan pada bulan Agustus 2022 hingga Januari 2023.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data ERA5, berupa data komponen *surface solar radiation downward*/SSRD perjam periode tahun 2012 hingga 2022 yang dikonversi menjadi satuan Watt/m<sup>2</sup> yang didapatkan dari pranala <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>. Parameter ini adalah jumlah radiasi matahari (juga dikenal sebagai radiasi gelombang pendek) yang mencapai bidang horizontal di permukaan bumi. Parameter ini adalah model yang setara dengan apa yang akan diukur oleh alat pyranometer (alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari) di permukaan.
2. Data laporan hasil pengamatan radiasi matahari berupa data ASRS perjam yang dilakukan oleh Stasiun Klimatologi BMKG Provinsi Riau. Periode data tahun 2020-2022 tersedia dalam format per 1 menit dengan satuan Watt/m<sup>2</sup>, kemudian dirata-rata menjadi data perjam menyesuaikan data ERA5 yang tersedia. Untuk wilayah Provinsi Riau, alat ASRS yang tersedia terletak di Kabupaten Kampar tepatnya kecamatan Tambang dan dipasang pada akhir tahun 2019 sehingga data yang akan diambil untuk keperluan validasi dimulai pada tahun tersebut.
3. Data batas administrasi kecamatan, data tata guna lahan (penutupan lahan) berupa peta shp untuk wilayah provinsi Riau bersumber dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Pekanbaru dan peta luas wilayah pemukiman kota Pekanbaru dari Dinas Pekerjaan Umum.
4. Data jaringan pemanfaatan energi surya wilayah provinsi Riau serta data konsumsi listrik dalam satuan kWh yang digunakan dari Perusahaan Listrik Negara (PT. PLN).
5. Daftar Perumahan di wilayah Kota Pekanbaru dari Real Estate Indonesia (REI) DPD Provinsi Riau.
6. Data hasil wawancara terhadap narasumber, dimana wawancara dilakukan untuk mengetahui pengetahuan dan persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan energi surya terhadap responden.

Sebelum dilakukan pemetaan, akan dilakukan uji kualitas data ERA5 terhadap data hasil pengamatan yang dilakukan oleh stasiun Klimatologi BMKG Provinsi Riau dengan perhitungan koefisien korelasi ( $r$ ) dan *root mean square error* (RMSE) untuk melihat kekuatan hubungan linier dan selisih rata-rata antara kedua variabel tersebut. Hasil uji kualitas antara nilai radiasi matahari hasil pengamatan ASRS di stasiun Klimatologi Provinsi Riau dan nilai parameter SSRD dari data ERA5 untuk periode tahun 2020 hingga tahun 2022 menunjukkan nilai  $r$  dan RMSE berturut-turut sebesar 0,66 dan 0,95 kWh/m<sup>2</sup>. Nilai  $r$  menunjukkan bahwa sebaran data ERA5 berada dalam kategori baik (kuat) dalam menggambarkan sebaran data ASRS hasil pengamatan stasiun Klimatologi pada tahun 2020-2022. Nilai RMSE menunjukkan rata-rata selisih nilai data reanalysis ERA5 terhadap nilai data observasinya sebesar 0,95 kWh/m<sup>2</sup>. Nilai maksimum dan minimum radiasi matahari dari data ERA5 ialah 7,1 kWh/m<sup>2</sup> dan 1,1 kWh/m<sup>2</sup>, sementara nilai maksimum dan minimum radiasi matahari hasil observasinya ialah 7,1 kWh/m<sup>2</sup> dan 1,4 kWh/m<sup>2</sup>. Hasil uji kualitas tersebut menunjukkan bahwa data ERA5 dapat dijadikan data pengganti untuk pengamatan radiasi matahari di wilayah provinsi Riau.

Data ERA5 berupa parameter SSRD selama 10 tahun pada lokasi kajian untuk masing-masing *grid* disusun menggunakan bahasa pemrograman python yang dijalankan menggunakan perangkat lunak anaconda kemudian dibuka dalam program ArcGIS untuk mendapatkan potensi energi surya yang disajikan dalam bentuk peta spasial berupa peta isopleth. Peta potensi energi surya ini kemudian dijadikan dasar pada proses identifikasi lokasi pengembangan pemanfaatan energi surya. Peta tersebut juga dijadikan dasar perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dapat direduksi dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai PLTS serta sebagai lokasi acuan pengambilan sampel untuk melakukan wawancara guna mendapatkan informasi mengenai pengetahuan, dan partisipasi masyarakat terhadap pemanfaatan energi surya.

Emisi CO<sub>2</sub> dari konsumsi daya listrik dihitung menggunakan Persamaan (1) berdasarkan perhitungan IPCC yaitu jumlah konsumsi listrik dalam setiap rumah tangga perbulan dikalikan dengan faktor emisi listrik. Faktor emisi listrik yang digunakan adalah faktor emisi sistem ketenagalistrikan interkoneksi Sumatera yaitu 0,94 tonCO<sub>2</sub>/MWh (Dirjen Ketenagalistrikan, 2019).

$$Emisi CO_2 = EC \times EF \quad (1)$$

Keterangan :

EC = konsumsi daya listrik (MWh)

EF = faktor emisi Konsumsi Listrik (tonCO<sub>2</sub>/kWh)

Teknik yang digunakan dalam pengambilan sampel untuk melakukan wawancara adalah teknik *purposive sampling* dimana jumlah responden ditentukan melalui rumus Slovin diacu pada Sugiyono (2019). Jumlah pelanggan PT.PLN kategori rumah tangga adalah sebanyak 364.335 sehingga jumlah responden untuk diwawancarai dalam penelitian ini adalah ±100 orang. Kriteria inklusi sampel untuk penelitian ini adalah memiliki luas bangunan rumah > 54 m<sup>2</sup> (Permen Perumahan Rakyat No 11 Tahun 2008), memiliki daya listrik ≥ 1300 VA, dalam 1 KK hanya ada 1 orang responden, dan bersedia menjadi responden. Pertanyaan yang diajukan dalam Kuesioner menggunakan pengukuran skala Likert, dimana penilaian yang diberikan oleh responden terbagi dalam lima opsi yaitu: 5 = Sangat Setuju, 4 = Setuju, 3 = Kurang Setuju, 2 = Tidak Setuju, 1 = Sangat Tidak Setuju. Hasil wawancara diolah menggunakan SPSS untuk memperoleh nilai reliabilitas, validitas, dan korelasinya. Hasil uji reliabilitas program SPSS 25 pada *table reliability statistics* memiliki nilai >0.6 yaitu 0.826 (kategori sangat kuat) (Ha *et al*, 2007). Uji validitas dilakukan dengan analisis item yaitu mengkolerasikan skor tiap butir dengan skor total Prayitno (2016) menggunakan program SPSS 25 pada tabel *item – total statistic* di kolom *corrected item – total correlation*. Hasil uji validitas kuesioner dengan 100 responden diperoleh r hitung pada setiap butir pertanyaan lebih besar dari r tabel, dimana r tabel menggunakan signifikansi 0.05 adalah 0.1966, maka kuesioner ini dapat dinyatakan valid. Melalui perhitungan dan bantuan aplikasi powersim, proyeksi emisi CO<sub>2</sub> yang dapat direduksi dapat dilakukan dengan menggunakan input histori jumlah penduduk, jumlah konsumsi listrik, dan perhitungan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil simulasi divalidasi dimana hasil perbandingan harus ≤ 5% (Law *et al*, 2014).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

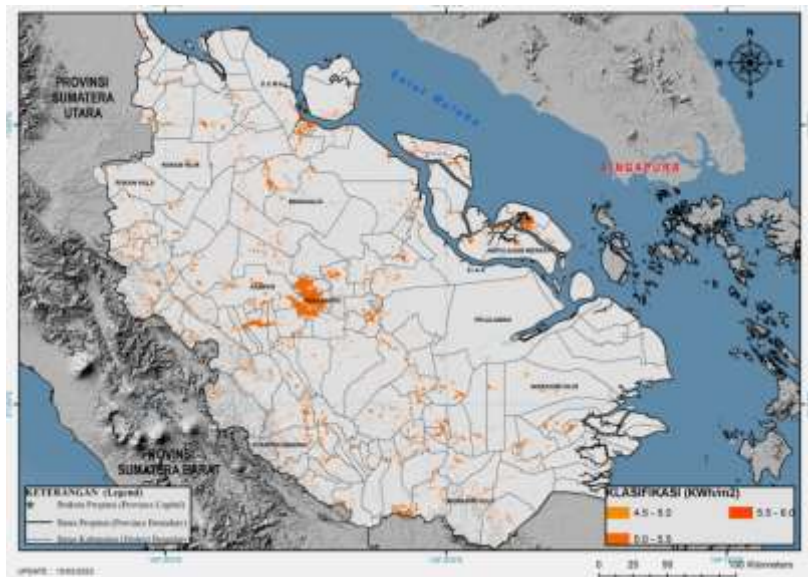
### Potensi Pemanfaatan Energi Surya di Wilayah Provinsi Riau

Nilai rata-rata dari keseluruhan data SRRD periode tahun 2012 hingga tahun 2021 adalah 4,7 kWh/m<sup>2</sup>. Hal ini sejalan dengan perhitungan Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (2019) bahwa rata-rata distribusi penyinaran di Indonesia mencapai 4,8 kWh/m<sup>2</sup>.hari dengan kisaran variasi bulanan mencapai 9%. Sebaran spasial energi surya rata-rata tahunan untuk wilayah Provinsi Riau berkisar antara 4,5 – 6,0 kWh/m<sup>2</sup>. Hampir sebagian besar wilayah provinsi Riau memiliki energi surya rata-rata tahunan sebesar 5,0 – 5,5 kWh/m<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah Provinsi Riau disinari oleh radiasi matahari hampir merata disepanjang tahunnya dimana secara teoritis akan selalu mendapatkan sinar matahari ± 5 jam sehari (Dewan Energi Nasional, 2016) sehingga PLTS dapat menjadi salah satu opsi sumber EBT karena didukung oleh potensi energi surya yang sangat besar di Provinsi Riau. Nilai energi surya yang dipetakan berdasarkan data ERA5 rata-rata dari tahun 2012-2021 selanjutnya di-*overlay* dan *intersect* dengan peta petutupan lahan yang diperoleh dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Pekanbaru tahun 2020 menggunakan metode visual interpretasi (*digitizing on screen*). Tutupan lahan yang tidak bisa dimanfaatkan sebagai lokasi pemanfaatan energi surya seperti kawasan hutan primer dan sekunder, perkebunan, sawah, hutan mangrove primer-sekunder, hutan rawa primer-sekunder, hutan tanaman, pertanian lahan kering dan lain-lain dieliminasi dan menyisakan tutupan lahan yang menjadi target pengembangan PLTS sesuai dengan yang tertuang dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2021-2030 dan pada peta One Map Kementerian ESDM yaitu area eks tambang, waduk/danau untuk PLTS terapung, lahan terbuka, semak belukar, dan permukiman.

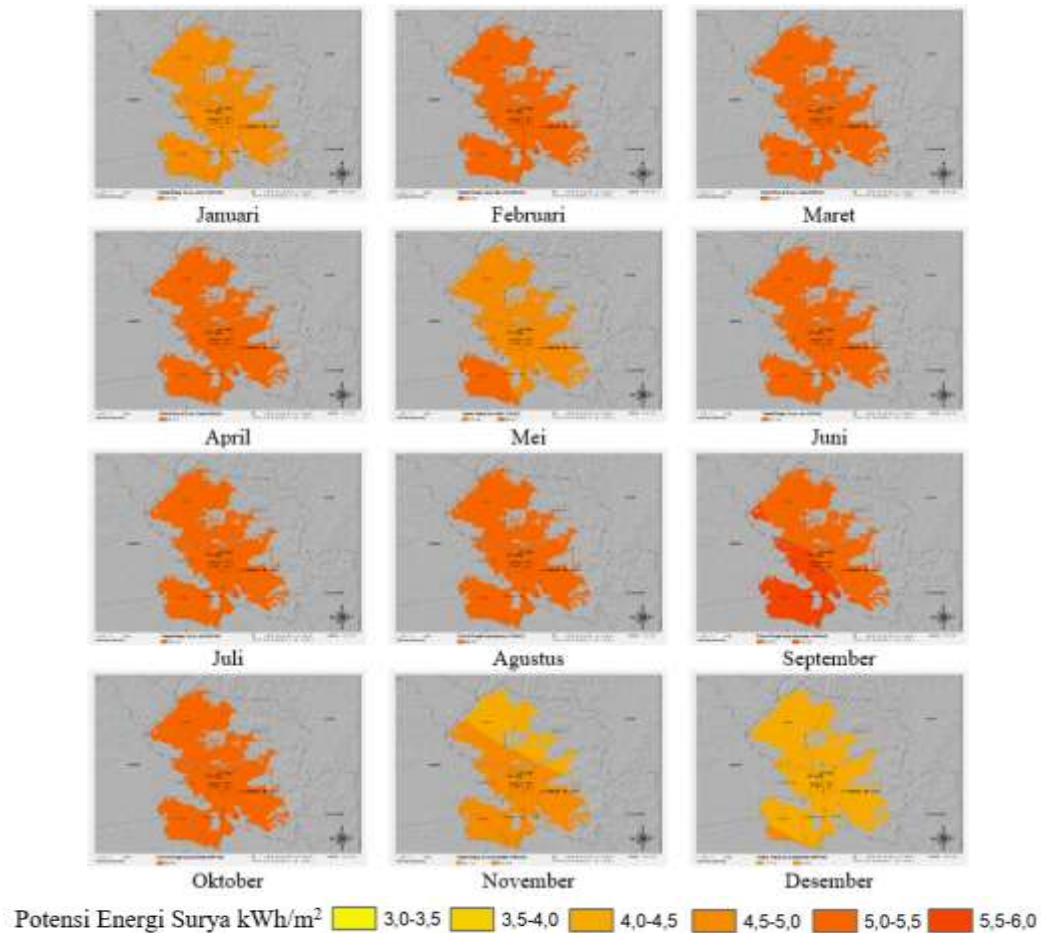
Peta hasil *overlay* dan *intersect* antara data penutupan lahan yang menjadi target pengembangan PLTS dan data potensi energi surya wilayah Provinsi Riau terlihat pada Gambar 2. Sebaran energi surya yang dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber EBT hampir merata di seluruh wilayah Provinsi Riau dan terdapat wilayah yang memiliki luasan lebih terpusat yaitu di wilayah Kota Pekanbaru yang merupakan klasifikasi pemukiman. Wilayah Kota Pekanbaru memiliki luas polygon yang rapat bila dibandingkan dengan wilayah potensial lainnya sehingga pembahasan pemanfaatan energi surya berikutnya akan terfokus pada pemanfaatan energi surya yang sesuai dengan areal pemukiman Kota Pekanbaru yaitu melalui pengembangan PLTS Atap. Pemukiman yang akan bertambah seiring dengan

pertambahan jumlah penduduk menunjukkan keberlanjutan pemanfaatan potensi energi surya melalui PLTS Atap kedepannya yang juga akan semakin berkembang juga. Hal tersebut juga sesuai dengan strategi yang terdapat didalam Perpres No 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional mengenai kebijakan pemanfaatan PLTS Atap yaitu mewajibkan pemanfaatan solar panel (sel surya) dengan minimal pemanfaatan sebesar 30% dari luas atap seluruh bangunan pemerintah serta memberlakukan kewajiban penggunaan sel surya minimum sekitar 25% dari luas atap apartemen, bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, melalui izin mendirikan bangunan.

Jumlah pelanggan listrik di wilayah Kota Pekanbaru pada tahun 2021 mencapai 364.335 pelanggan pada kategori rumah tangga dan merupakan pengguna energi terbanyak yaitu 86.70% (BPS, 2022). Nilai potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan di wilayah Pekanbaru berdasarkan data rata-rata ERA5 tahun 2012-2021 adalah 5,0-5,5 kWh/m<sup>2</sup>, dimana menurut Rumbayan (2012) insolasi matahari dengan nilai tersebut berada pada rentang sedang hingga tinggi. Pemetaan distribusi potensi energi surya bulanan di Kota Pekanbaru juga telah dilakukan, dimana variasi sebaran energi surya bulanan bervariasi antara 4,0-6,0 kWh/m<sup>2</sup> yang ditunjukkan pada Gambar 3. Variasi potensi energi surya disebabkan oleh penerimaan radiasi matahari yang juga bervariasi pada bulan yang berbeda di wilayah Pekanbaru. Variabilitas radiasi matahari yang diterima bumi secara garis besar dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor astronomis (letak geografi atau lintang) maupun faktor atmosferik (Kimball, 1932).



Gambar 2. Peta wilayah potensial pengembangan PLTS di Provinsi Riau  
(Sumber: Pengolahan Data, 2022)



Gambar 3. Distribusi potensi energi surya bulanan di Kota Pekanbaru  
(Sumber: Pengolahan Data, 2022)

Pola bulanan sebaran potensi energi surya di wilayah Kota Pekanbaru mengikuti gerak semi tahunan matahari dan pola hujan ekuatorial yang dimiliki wilayah Pekanbaru (gambar 3). Pada bulan Maret hingga April maupun September hingga Oktober, posisi matahari relatif lebih tinggi di wilayah sekitar ekuator sehingga menguatkan intensitas radiasi matahari yang diserap terutama pada siang hari. Pada bulan Februari, Juni hingga Agustus Kota Pekanbaru akan mengalami musim kemarau dan berakibat pada berkurangnya intensitas pertumbuhan awan sehingga radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi tidak terhalang oleh awan (Anggreni *et al.* 2018; Sianturi, 2021).

### Perhitungan Emisi Karbon dan Potensi Pengurangan Emisi CO<sub>2</sub>

Bahan bakar fosil adalah sumber energi yang tidak berkelanjutan dan dapat menyebabkan masalah lingkungan dan masalah kesehatan yang parah, namun bahan bakar fosil masih menjadi penyumbang utama sektor energi (Curtin *et al.* 2019; Yang *et al.* 2021). Gas rumah kaca, seperti karbon dioksida, metana, dan nitrous oksida merupakan emisi yang dihasilkan dalam jumlah besar selama proses pembakaran bahan bakar fosil. Sektor ketenagalistrikan ikut andil dalam menyumbang emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi listrik terutama oleh rumah tangga. Konsumsi listrik rumah tangga di Pekanbaru menyumbang emisi CO<sub>2</sub> mencapai 34.602 tonCO<sub>2</sub> /Bulan (Fitri, 2020). Sasmita *et al.*(2018) menyatakan bahwa hubungan antara rata-rata nilai emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan suatu rumah berbanding lurus dengan daya listrik yang terpasang di rumah tersebut. Tabel 1 menunjukkan adanya hubungan konsumsi listrik dengan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan yang dihitung dengan Persamaan (1).

Tabel 1. Konsumsi Listrik dan Emisi CO<sub>2</sub> Kota Pekanbaru

Tahun	Total Penggunaan Listrik (kWh/Tahun)	Emisi CO <sub>2</sub> (tonCO <sub>2</sub> /tahun)
2021	913.076.619	858.292
2022	930.414.627	874.590

(Sumber: PT. PLN UIWRK)

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN UIWRK hingga bulan Desember 2022, terdapat

9 Unit rumah tangga, 1 Unit Industri, dan 10 Lembaga Pemerintahan (Rumah sakit, Kantor, Sekolah) yang terdaftar telah memanfaatkan energi surya dalam penggunaan listrik. Berdasarkan perhitungan persamaan 2.3, reduksi emisi CO<sub>2</sub> yang telah dilakukan oleh pelanggan kategori rumah tangga adalah sebesar 31.981 KgCO<sub>2</sub> dengan penghematan yang telah dihasilkan adalah sebesar 34.022 kWh sejak adanya penggunaan PLTS Atap hingga bulan Desember 2022 di Kota Pekanbaru. Untuk lebih jelasnya terlihat pada Tabel 2. Potensi energi surya yang dimiliki oleh wilayah Kota Pekanbaru ternyata tidak sejalan dengan pemanfaatannya karena masih sedikit masyarakat yang telah memanfaatkan energi terbarukan ini dimana salah satu pemanfaatannya adalah menggunakan PLTS Atap.

Apabila pemanfaatan energi surya di wilayah Kota Pekanbaru dapat terus meningkat, dengan menggunakan nilai potensi panen energi listrik dari PLTS Atap permukiman yang telah dihitung sebelumnya yaitu berkisar antara 438.227-482.050 MWh/tahun, maka total potensi emisi CO<sub>2</sub> yang dapat direduksi dengan menggunakan PLTS Atap mencapai ±411.934-453.127 tonCO<sub>2</sub>/tahun dihitung menggunakan perhitungan emisi *baseline* menggunakan PLTS Atap. Dengan adanya pengurangan emisi hingga ±411.934-453.127 tonCO<sub>2</sub>/tahun, maka potensi pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dari sektor penggunaan listrik kategori rumah tangga pada tahun 2022 bisa mencapai hingga 52%.

### Analisis Manfaat Lingkungan, Sosial, dan Ekonomi

Karena masih sedikitnya pemanfaatan energi surya melalui PLTS Atap di wilayah Kota Pekanbaru, telah dilakukan wawancara terhadap responden yang ditetapkan untuk mengetahui pengetahuan dan persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan energi surya terhadap responden. Sebanyak 100 orang responden memberikan jawaban atas pertanyaan tertutup mengenai EBT dan PLTS Atap, terdapat 12 Pertanyaan dengan 10 jawaban menggunakan skala likert dan 2 pertanyaan berupa pilihan jawaban singkat. Sebagian besar responden memiliki tingkat Pendidikan setara dengan D4/S1 (65%), 27,0% memiliki Pendidikan terakhir S2, dan tamatan SMA/Sederajat, D3, dan S3 berturut-turut 6,0%, 1,0%, 1,0%. Kemudian sebanyak 10,0% koresponden merupakan pegawai BUMN, 31,0% adalah pegawai PNS, dan 59,0% bergerak di bidang wiraswasta. Selanjutnya sebanyak 34,0% memiliki penghasilan berkisar antara >Rp.20.000.000, 30,0% responden yang memiliki penghasilan sebesar Rp10.000.000-15.000.000, dan 16,0% dalam rentang Rp.15.000.000-20.000.000. Sebagian besar responden memasang daya listrik sebesar 2200 VA (51,0%), dengan rata-rata tiap bulannya paling banyak membayar tagihan listrik dalam rentang sebesar Rp. 1.000.000 hingga 2.000.000.

**Tabel 2.** Penghematan dan reduksi CO<sub>2</sub> penggunaan PLTS Atap

No	Nama	Tanggal Masuk PLTS Atap	PLTS Atap (Wp)	Jenis Tarif	Tarif (Rupiah/kWh)	Penghematan (Rupiah)	Persentase Penghematan (rata-rata)	kWh Ekspor t	Reduksi Emisi CO <sub>2</sub> (Kg)
1	Pelanggan 1	30/03/2022	5000	R2	1.699,50	1.739.308	11%	1,574	1,250.13
2	Pelanggan 2	21/12/2018	1500	R2	1.699,50	10.738.735	29%	9,721	7,718.47
3	Pelanggan 3	15/12/2017	5000	B1	1.100,00	3.998.638	16%	5,593	4,440.4 5
4	Pelanggan 4	19/05/2022	1800	R2	1.699,50	1.982.927	238%	1,795	1,425.23
5	Pelanggan 5	21/02/2018	6000	R1	1.444,70	6.058.783	44%	6,452	5,122.89
6	Pelanggan 6	22/12/2017	1500	R1	1.444,70	2.691.332	25%	2,866	2,275.6 0
7	Pelanggan 7	11/04/2022	2000	R2	1.699,50	639.618	25%	579	459.73
8	Pelanggan 8	09/05/2022	3000	R2	1.699,50	2.316.544	160%	2,097	1,665.0 2
9	Pelanggan 9	09/05/2022	1500	R1	1.444,70	3.141.139	329%	3,345	2,655.9 3
Jumlah								34,022	31,981

(Sumber: PT. PLN UIWRK)

Hasil Kuesioner menunjukkan bahwa alasan responden belum menggunakan PLTS Atap ialah sebanyak 58,0% menjawab tidak tahu/kurang info, 20,0% menjawab belum butuh, dan 22,0% karena harga instalasi yang mahal. Lebih dari 50% responden tidak mengetahui pemanfaatan energi surya dan kekurangan informasi mengenai manfaat dan keuntungan dari pemasangan PLTS Atap. Di sisi lain, jawaban dari pertanyaan tertutup mengenai alasan utama responden jika suatu saat nanti akan memutuskan menggunakan PLTS Atap/Panel surya/Photovoltaik rooftop ialah didominasi karena kesadaran lingkungan (51,0%). Sebagian besar responden sudah memiliki kesadaran lingkungan yang

cukup baik serta mengetahui hubungan antara konsumsi listrik dan emisi CO<sub>2</sub>, dan sangat setuju dengan pernyataan bahwa diperlukan alternatif pembangkit listrik yang lebih ramah lingkungan. Namun, 85,2% responden menyatakan bahwa sebenarnya masyarakat belum tahu manfaat dari menggunakan PLTS Atap, 84,4% responden juga dalam rentang sangat setuju bahwa informasi dan sosialisasi mengenai PLTS atap kepada masyarakat sangat minim, serta 90,2% responden sangat setuju bahwa informasi dan sosialisasi mengenai PLTS atap sangat diperlukan. Pemindahan atau penyebaran teknologi seringkali terjadi tanpa disertai dengan pemindahan ilmu pengetahuannya, sehingga dapat dilihat bahwa sebagian besar responden memang memiliki pengetahuan yang baik dalam hal menjaga lingkungan, EBT, dan juga emisi CO<sub>2</sub>, namun masih belum memiliki pengetahuan yang cukup dalam hal implementasi PLTS Atap sebagai sumber energi mandiri yang ramah lingkungan.

Pembangunan sebuah teknologi baru di tengah-tengah masyarakat sebaiknya diawali dengan pendekatan sosial masyarakat sebagai pijakan awal dalam proses perencanaan maupun implementasi dari rencana pembangunan tersebut, sehingga pembangunan yang direncanakan tidak meninggalkan aspek sosial masyarakat setempat dan dapat mencapai keberhasilan serta memperoleh manfaat (Azzahro, 2014). Hal ini tentu saja memerlukan kemampuan banyak pihak yang berkaitan dengan pengembangan PLTS Atap untuk dapat mengintegrasikan teknologi energi ke dalam sistem sosial-budaya-ekonomi. Udayana (2020) meneliti bahwa memang diperlukan edukasi dan sosialisasi yang komprehensif kepada seluruh komponen masyarakat agar penggunaan PLTS Atap dapat berkembang sesuai dengan mekanisme dan prinsip dari Permen yang mengatur. Untuk mendukung hal tersebut, di pulau Bali dilakukan pilot proyek yang dibangun dilokasi strategis untuk kemudian dikaji dan didokumentasikan secara lengkap dimana hasilnya akan didesiminasikan melalui berbagai forum dan media agar dapat memberikan dampak yang maksimal. *Marketing campaign*, promosi, serta sosialisasi dapat menjadi suatu kebijakan untuk dapat meningkatkan minat masyarakat untuk memanfaatkan energi surya melalui PLTS (Wijaya, 2021). Sinergitas antara masyarakat, pemerintah/pihak terkait, dan area/wilayah penerapan inovasi tersebut diperlukan agar penerapan dari adopsi sebuah teknologi baru dapat berjalan dengan lancar dan diharapkan kedepannya kendala seperti kurangnya partisipasi masyarakat atau kurangnya wawasan mengenai program pemerintah terkait PLTS Atap dapat teratasi.

Suripto dan Fathoni (2021) menyatakan, sumber energi PLTS Atap tidak akan habis, beberapa studi menyimpulkan bahwa nilai NPV (*Net Present Value*) dari PLTS menunjukkan tingkat kelayakan untuk dibangun, dan beberapa studi mengungkapkan bahwa life time dari PLTS rata-rata diatas 20 tahun dan dalam 10 tahun dapat mengembalikan modal yang telah dikeluarkan. Tabel 2 menunjukkan penghematan yang didapatkan oleh pelanggan yang telah menggunakan PLTS Atap di Pekanbaru yang dihitung berdasarkan kWh *exim* yang terpasang, dengan mengurangi konsumsi listrik menggunakan PLN (kWh *import*) dan kelebihan daya yang dihasilkan oleh unit PLTS Atap yang terpasang (kWh *ekspor*). Selain menghasilkan energi mandiri untuk kebutuhan pribadi, kelebihan energi yang dihasilkan dari penggunaan PLTS Atap dapat dijual pada PT. PLN, sesuai dengan implementasi Permen ESDM Nomor 26 Tahun 2021. Pratama (2018) meneliti mengenai perancangan PLTS Atap *Grid-Connected* di perumahan Citra Land Kota Pekanbaru dengan biaya investasi awal berkisar antara Rp.19.810/Wp sampai dengan Rp.22.768/Wp, dimana semakin besar kapasitas PLTS Atap yang terpasang maka akan semakin murah biaya investasinya. Berdasarkan analisa ekonomi dengan umur proyek selama 20 tahun, didapatkan bahwa nilai payback lebih kecil dari umur proyek sehingga instalasi PLTS Atap dapat dinyatakan layak, dan perhitungan kembali modal berkisar antara 8 hingga 9,5 tahun.

Kementerian ESDM juga memfasilitasi masyarakat yang berminat menggunakan PLTS Atap dengan memberikan akses pada pranala <https://p3tkebt.esdm.go.id/esmart/> untuk membantu perencanaan pemasangan PLTS Atap. Pranala tersebut akan memberikan informasi mengenai potensi dan kapasitas modul yang dapat dipasang, total biaya yang perlu dikeluarkan untuk pemasangan, serta penghematan yang dapat diperoleh hingga potensi emisi CO<sub>2</sub> yang dapat dikurangi dengan pemasangan PLTS Atap tersebut. Informasi tersebut merupakan hasil kalkulasi dari luas area, tipe bangunan, daya listrik terpasang, jenis dan arah serta kemiringan atap dari rumah yang direncanakan pemasangan PLTS Atap. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada salah satu pelanggan dengan keterangan teknis yaitu luas tempat tinggal 145 m<sup>2</sup>; tipe bangunan rumah tangga; daya listrik terpasang 5500 VA; total tagihan listrik 1 bulan Rp2.000.000; jenis atap dak beton; arah atap timur; kemiringan atap 0°, estimasi total investasi yang akan dikeluarkan oleh pelanggan adalah sebesar ±Rp44.469.000 dengan manfaat ekonomi berupa penghematan biaya tagihan listrik rata-rata bulanan yang didapat dari instalasi PLTS Atap tersebut mencapai ±21% dari total tagihan listrik tanpa menggunakan PLTS Atap.

Diperlukan beberapa langkah alternatif yang perlu dipersiapkan ataupun diteruskan oleh pemerintah sebagai upaya pengembangan pasar energi surya (Cox *et al.* 2015). Sebagai contoh, Azerbaijan telah melakukan upaya pengembangan pasar energi surya dengan melihat tiga aspek yaitu kemampuan energi surya untuk bersaing dengan sumber energi lainnya, sikap investor terhadap pengembangan energi surya, serta kebijakan baik terkait EBT secara umum maupun energi surya

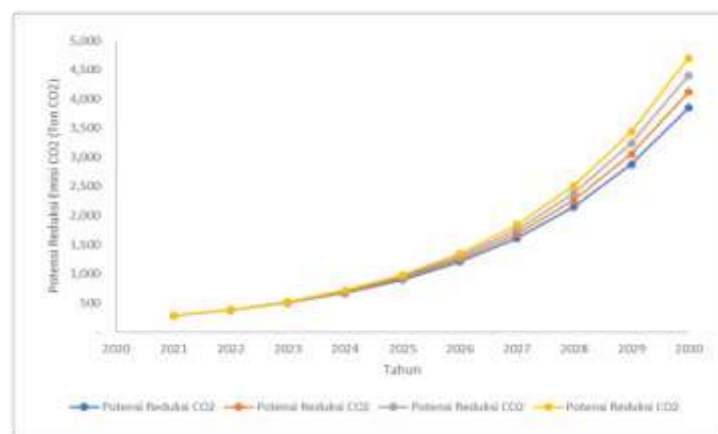


secara khusus (Gulaliyev *et al*, 2020). Hal ini mungkin dapat diadopsi oleh pemerintah Indonesia untuk dapat mengembangkan pemasaran PLTS Atap. Pada tahun 2021 Direktorat Aneka EBT meninjau kembali untuk Permen ESDM No. 49 tahun 2018 tentang pemanfaatan PLTS Atap oleh pelanggan PT.PLN dan merubahnya menjadi Permen ESDM No.26 Tahun 2021. Salah satu yang mendasari adanya peninjauan kembali terhadap peraturan tersebut adalah jumlah peningkatan kapasitas PLTS Atap yang belum memenuhi target, adanya laporan masyarakat terhadap implementasi PLTS Atap, kesulitan pengawasan implementasi PLTS Atap, perbedaan informasi terkait PLTS Atap di lapangan, serta saran stakeholder untuk peningkatan nilai ekonomi PLTS Atap. Perubahan Permen tersebut diharapkan akan menarik minat masyarakat untuk memasang PLTS Atap sehingga target pembangunan PLTS Atap sebesar 3.6 GW dapat tercapai pada tahun 2025.

### Proyeksi Penggunaan PLTS Atap untuk Mengurangi Emisi CO<sub>2</sub>

Proyeksi yang dilakukan oleh Kementerian ESDM terhadap target pemasangan PLTS Atap yang akan dilakukan secara bertahap hingga tahun 2025 untuk menghasilkan daya sebesar 3,6 GW akan berpotensi menyerap lebih dari 120.000 tenaga kerja, peningkatan investasi mencapai 45 - 63,7 Triliun Rupiah untuk pembangunan fisik PLTS, dan sekitar Rp.2,04 - 4,1 Triliun untuk pembuatan kWh Exim, mendukung pertumbuhan industri terkait PLTS dalam negeri dan peningkatan daya saing Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN), mendukung *green product* dan *green industry* sektor jasa untuk menghindari penerapan carbon border tax di tingkat global, serta berpotensi mengurangi emisi GRK mencapai 4,58 Juta tonCO<sub>2</sub>eq, yang diperkirakan akan mendapatkan pemasukan dari penjualan Nilai Ekonomi Karbon hingga Rp 0,06 Triliun/tahun (dengan asumsi harga karbon 2 USD/ton CO<sub>2</sub>eq).

Dengan besarnya manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan yang dapat diperoleh dari pemanfaatan energi surya menjadi sumber EBT tersebut, maka dilakukan proyeksi untuk memberi gambaran terhadap jumlah peningkatan penggunaan PLTS Atap di wilayah Kota Pekanbaru dengan melakukan beberapa skenario yaitu peningkatan sosialisasi dan edukasi, faktor tingkat kemudahan pemasangan kWh *Exim* bagi pengguna PLTS Atap oleh PT.PLN, dan adanya penurunan biaya instalasi PLTS Atap. Simulasi terhadap pemanfaatan energi surya melalui PLTS Atap untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di wilayah Kota Pekanbaru hingga tahun 2030 dirancang dan di-*running* menggunakan aplikasi powersim. Gambar 4 menunjukkan adanya peningkatan yang cukup baik apabila faktor-faktor tersebut mengalami peningkatan hanya 1%, nilai akhir pada proyeksi ini menghasilkan peningkatan jumlah daya atau pemasangan PLTS Atap mencapai ±6.88% pada tahun 2030 dengan nilai sebesar ±4.997 MWh dan mampu mereduksi CO<sub>2</sub> sebesar 4.697 tonCO<sub>2</sub>.



Gambar 4. Proyeksi Peningkatan Penggunaan PLTS Atap  
(Sumber: Pengolahan Data, 2022)

IPCC melaporkan bahwa suhu global akan cenderung menjadi stabil jika kadar emisi CO<sub>2</sub> dunia bisa mencapai target *net-zero*. Untuk menahan kenaikan suhu bumi mencapai 1,5°C (2,7°F), *net-zero* CO<sub>2</sub> harus mencapai target secara global pada awal 2050-an; sedangkan pada awal 2070-an untuk 2°C (3,6°F). Dengan memanfaatkan energi surya melalui PLTS Atap untuk menghasilkan energi mandiri dalam rumah tangga diharapkan dapat membantu mempercepat pencapaian pemerintah dalam hal bauran EBT.

## SIMPULAN

Telah dilakukan pengolahan data ERA5 untuk mengetahui distribusi spasial energi surya rata-rata tahunan untuk wilayah Provinsi Riau yaitu berkisar antara 4,5 – 6,0 kWh/m<sup>2</sup> dengan potensi energi surya wilayah pemukiman Kota Pekanbaru adalah 5,0-5,5 kWh/m<sup>2</sup>. Potensi energi surya paling tinggi terdapat pada bulan September yaitu berkisar antara 5,0-6,0 kWh/m<sup>2</sup> sedangkan paling rendah pada bulan November, dan Desember yaitu berkisar antara 4,0-5,0 kWh/m<sup>2</sup>. Potensi panen energi listrik dari PLTS Atap permukiman wilayah Kota Pekanbaru yaitu berkisar antara 438.227-482.050 MWh/tahun. Terdapat pengurangan emisi CO<sub>2</sub> yang telah dilakukan oleh 9 instalasi PLTS Atap oleh pelanggan PT. PLN kategori rumah tangga di wilayah Kota Pekanbaru sebesar 27.013 KgCO<sub>2</sub>. Dengan pemanfaatan PLTS Atap kedepannya, total emisi CO<sub>2</sub> di wilayah Kota Pekanbaru akan berpotensi untuk direduksi sebanyak ±411.934-453.127 tonCO<sub>2</sub>/tahun. Selain penghematan dari segi ekonomi, pemanfaatan energi surya melalui PLTS Atap juga terbukti memberikan kontribusi untuk mengurangi emisi GRK dan meningkatkan kualitas udara, sehingga memberikan manfaat kepada masyarakat dan lingkungan. Aksi mitigasi di sektor konsumsi listrik juga dapat meningkatkan kesempatan kerja serta usaha terutama dibidang energi terbarukan. Namun pada praktiknya, di wilayah Provinsi Riau khususnya Kota Pekanbaru masih banyak masyarakat yang belum mengetahui manfaat dari energi surya. Penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan energi surya melalui PLTS Atap terkait teknis dan sosialisasinya akan sangat baik dilakukan untuk memperluas informasi mengenai PLTS Atap kepada masyarakat dengan variabilitas responden yang ditingkatkan sehingga kedepannya diharapkan dapat diperoleh strategi yang lebih baik untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat terkait pemanfaatan energi surya melalui PLTS Atap dan pengembangan pemanfaatan energi surya dapat lebih efektif serta tepat sasaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afif, F. & Martin. A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 6(1): 43-52.
- Anggreni, R., Muliadi, M., & Adriat, R., (2018). Analisis Pengaruh Tutupan Awan Terhadap Radiasi Matahari di Kota Pontianak. *PRISMA FISIKA*, 6(3).
- Azzahro, F. H. (2014). *Institusionalisasi Proyek Energi Baru Terbarukan: (Studi kasus Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Dusun Daleman, Desa Girikerto, Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, DIY. Universitas Gadjah Mada.*
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Provinsi Riau dalam Angka 2022*. Riau: BPS Riau.
- Cox, Sadie., T. Walter, S. Esterly, & S. Booth. (2015). *Solar Power: Policy Overview and Good Practices*. Report. Clean Energy Solution Center.
- Curtin. J., McInerney C, 'O Gallach'oir B, Hickey C, Deane P, & Deeney P. (2019). *Quantifying stranding risk for fossil fuel assets and implications for renewable energy investment: a review of the literature*. *Renew Sustain Energy* ;116: 109402.
- Dewan Energi Nasional. (2016). *Indonesia Energy Outlook 2016*.
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan. (2019). *Faktor Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sistem Interkoneksi Ketenagalistrikan*. Retrieved March 3, 2023, from [https://gatrik.esdm.go.id/frontend/download\\_index/?kode\\_category=emisi\\_pl](https://gatrik.esdm.go.id/frontend/download_index/?kode_category=emisi_pl).
- Fitri, Y., Putri, A.N., & Retnawaty, S.F., (2020). *Estimasi Emisi CO<sub>2</sub> Dari Sektor Rumah Tangga Di Kota Pekanbaru*. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 11(1), pp.1-6.
- Gulaliyev, Mayis G., Elchin R, Mustafyev, & Gulsura Y. Mehdiyeva. (2020). *Assesment of Solar Energy Potential and Its Ecological-Economic Efficiency: Azerbaijan Case*. *Sustainability*, 12, 116.
- Ha, I., Yoon, Y., & Choi, M. (2007). *Determinants of adoption of mobile games under mobile broadband wireless access environment*. *Information and Management*, 44(3), 276-286.
- Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Siaran Pers Nomor: 389.Pers/04/SJI/2021 Tanggal: 2 November 2021 COP ke-26, Menteri ESDM Sampaikan

- Komitmen Indonesia Capai Net Zero Emission International Energy Agency. 2021. Global energy Review 2021.
- Kimball, H. (1932). *Solar Radiation as a Meteorological Factor. Reviews of Modern Physics*, 4, 259-277.
- Law, Averill M., Kelton, & David W. (2014). *Simulation Modeling and Analysis*, five edition. McGraw-Hill; International.
- Pratama, G. (2018). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Grid-Connected Skala Residensial di Kota Pekanbaru (Studi Kasus: Perumahan Citraland Pekanbaru). Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Prayitno, D. (2016). Belajar Alat Analisis Data dan Cara Pengolahannya dengan SPSS. Gava Media. Yogyakarta.
- Ritter, M., Shen. Z., Cabrera. L., Odening. M., & Deckert. L. (2015). *A New Approach to Assess Wind Energy Potential*. Energy Procedia Vol. 75: 671-676.
- Rumbayan, M., Abudureyimu. A., & Nagasaka. K. (2012). *Mapping Of Solar Energy Potential In Indonesia Using Artificial Neural Network And Geographical Information System*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(3): 1437-1449.
- Sasmita, A., Asmura, J., & Andesgur, I. (2018). Analisis Carbon Footprint yang Dihasilkan dari Aktivitas Rumah Tangga di Kelurahan Limbungan Baru Kota Pekanbaru. WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA, 16(1), 96-105.
- Sianturi, Y., Marjuki., & Sartika. K. (2020). *Evaluation of ERA5 and MERRA2 Reanalyses To Estimate Solar Irradiance Using Ground Observations Over Indonesia Region*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2223, No. 1, p. 020002). AIP Publishing LLC.
- Sianturi, Y. (2021). Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi. Megasains, 12(1): 40-47.
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Pendidikan. Bandung: Alfabeta.
- Suripto, H., & Fathoni, A. 2021. Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya; sebuah review berdasarkan data histori, metode analisis, dan nilai ekonomi. Aptek, 33-41.
- Susilo, D. N. (2021). Analisis Prakiraan Kebutuhan Dan Ketersediaan Energi Listrik Tahun 2020-2024 Di Provinsi Riau (*undergraduate student thesis*, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).
- Tambunan, H. B. (2020). Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Deepublish.
- Udayana, C., & Kumara, S. 2020. Peta Jalan Pengembangan PLTS Atap Menuju Bali Mandiri Energi.
- Wardhana, A. R., & Marifatullah. W. H. (2020). Transisi Indonesia Menuju Energi Terbarukan. Tashwirul Afkar, 39(2).
- Widodo, D.A., Purwanto, P. & Hermawan, H., (2020). Pengembangan Potensi Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Berwawasan Lingkungan Pada Area Atap Fotovoltaik Permukiman Provinsi Jawa Tengah (Doctoral dissertation, School of Postgraduate Studies).
- Wijaya, M. J. (2021). Usulan Kebijakan Untuk Meningkatkan Niat Menggunakan PLTS Atap Berdasarkan Model Adopsi Teknologi. (Undergraduate theses: Universitas Katolik Parahyangan).
- Yani, S. A. (2021). Evaluasi Pelaksanaan Tugas Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Provinsi Riau Dalam Pengawasan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat. (Undergraduate Thesis, Universitas Islam Riau).
- Yang, X., Pang J, Teng F, Gong R, & Springer C. (2021). *The Environmental Co-Benefit And Economic Impact Of China's Low-Carbon Pathways: Evidence From Linking Bottom-Up And Top-Down Models*. Renew Sustain Energy; 136:110438.