

Pemetaan Potensi Energi Listrik Tenaga Surya Berdasarkan Luas Area Permukiman

Brilliant Dwinata, Gagan G. Tabah, Beyrra Triasadian

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jendral Achmad Yani

Jl. Terusan Jend. Sudirman, Cimahi, Jawa Barat 40531

e-mail: brilliant.dwinata@lecture.unjani.ac.id

e-mail: gagan.ganjar@lecture.unjani.ac.id

e-mail: beyrra@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pemetaan potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan langkah awal tercapainya target bauran energy baru dan terbarukan yang mencapai 23% pada tahun 2025 dan mencapai 31% pada tahun 2050. Penentuan batasan lokasi kajian menggunakan data .shp wilayah dengan .shp atap permukiman. Pengukuran intensitas radiasi matahari global dilakukan secara langsung dengan interval 30 menit pada siang hari dan juga dilakukan secara empiric melalui solargis. Perhitungan luas atap tersedia mempertimbangkan factor koreksifitur dan pengaruh bayangan. Perhitungan daya keluaran mempertimbangkan factor pengurangan efisiensi modul photo voltaic (PV) berupa model panel surya, depresiasi, orientasi, dan rugi instalasi. Penelitian ini menghasilkan estimasi daya keluaran dalam satuan Watt pada luasan atap permukiman tertentu dengan 3 skenario yang berbeda yakni penggunaan jenis modul monokristalin, polikristalin, dan thin film.

Kata kunci: pemetaan potensi PLTS atap, energi baru dan terbarukan, efisiensi modul PV.

1. Pendahuluan

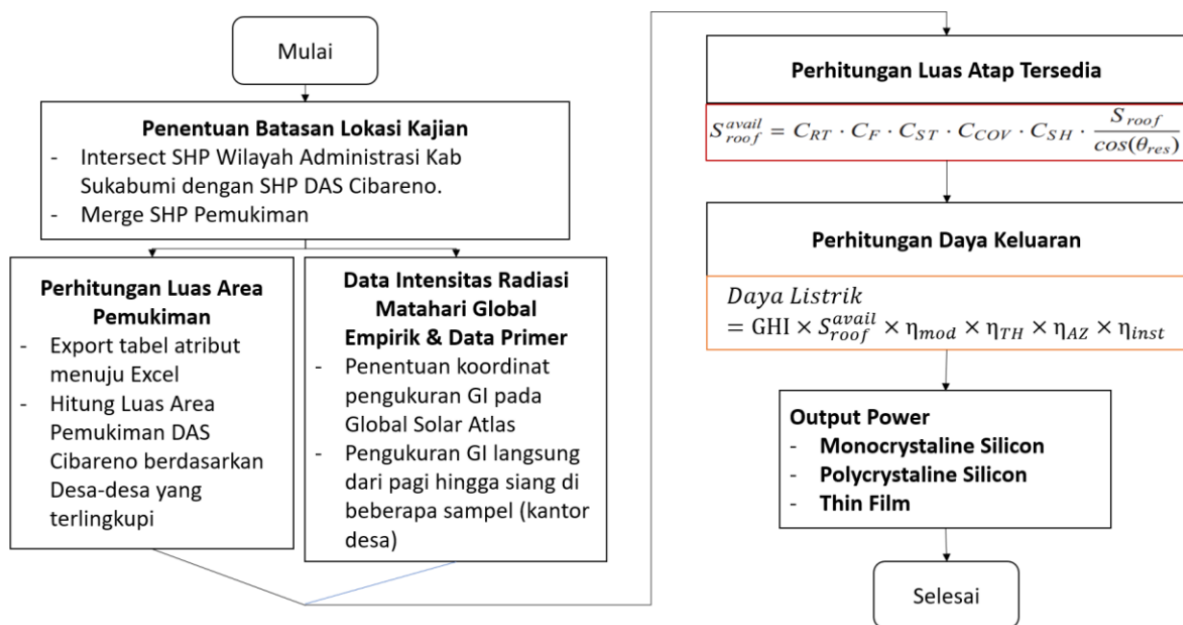
Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) merupakan pedoman untuk memberi arah pengelolaan energi nasional guna mewujudkan kemandirian energi dan ketahanan energi nasional untuk mendukung pembangunan nasional berkelanjutan. Di dalam Hasil proyeksi pemodelan pasokan energi primer pada sektor energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 mencapai 400 MTOE atau 23% dan tahun 2050 mencapai 1.012 MTOE atau 31% (KESDM, 2017 [1]). Dalam rangka tercapainya target tersebut perlu adanya berbagai kegiatan salah satunya adalah penelitian terkait metoda pemetaan potensi energi listrik tenaga surya atap. PLTS memiliki sifat densitas daya yang rendah, sehingga membutuhkan area pemasangan yang relatif besar. Penggunaan PLTS atap lebih diutamakan dibandingkan dengan PLTS di atas tanah kosong karena tidak perlu ada pembebasan lahan dan mengurangi biaya investasi. Penelitian ini bermanfaat untuk memprediksi daya keluaran yang dihasilkan PLTS atap dari luasan atap permukiman pada wilayah tertentu. Dengan adanya metoda pemetaan potensi energi listrik tenaga surya atap yang akurat, penelitian ini diharapkan menjadi informasi yang berguna bagi para pemegang kepentingan baik industri maupun pemerintah untuk menetapkan program ketahanan energi nasional.

Pemetaan potensi pengembangan PLTS atap berdasarkan luas area permukiman merupakan estimasi daya keluaran yang dihasilkan PLTS. Daya memiliki satuan Watt/m^2 , dengan kata lain pemetaan potensi PLTS atap membutuhkan data intensitas radiasi matahari global beserta luas atap tersedia. Intensitas radiasi matahari dapat diperkirakan secara empirik dengan pemodelan simulasi dengan memperhitungkan penjumlahan antara radiasi *beam* dengan radiasi difusi. Radiasi *beam* adalah radiasi matahari yang tidak direfleksikan oleh atmosfer sedangkan radiasi difusi adalah radiasi matahari yang telah direfleksikan oleh zat-zat yang terkandung pada atmosfer dan mengarah pada panel surya (Duffie & Beckman, 2013 [2]). Luas atap tersedia merupakan luasan atap yang secara sepenuhnya menyerap cahaya

matahari. Luas atap tersedia dihitung dengan mempertimbangkan faktor koreksi fitur dan pengaruh bayangan. Perhitungan daya keluaran mempertimbangkan faktor pengurangan efisiensi modul PV berupa model panel surya, depresiasi, orientasi, dan rugi instalasi (Bergamasco & Asinari, 2011 [3]).

2. Metodologi

Secara umum tahapan pelaksanaan pemetaan potensi pengembangan energi listrik tenaga surya adalah penentuan batasan lokasi kajian, penentuan luas area permukiman, pengukuran intensitas radiasi matahari global, perhitungan luas atap tersedia, dan perhitungan daya keluaran. Berikut adalah metodologi pengerjaan survei pemetaan potensi umum pembangkit listrik tenaga surya yang disajikan dalam bentuk diagram alir:



Gambar 1 Diagram alir metodologi pemetaan potensi PLTS atap berdasarkan luas area permukiman

Penentuan Batasan Lokasi Kajian

Penentuan batasan lokasi kajian merupakan penentuan lokasi dimana terdapat pengukuran radiasi matahari dilakukan. Lokasi tersebut merupakan permukiman rumah dimana tempat tersebut memungkinkan untuk dipasangkan panel surya atap. Penentuan koordinat lokasi permukiman dilakukan dengan cara *mapping* luas permukiman yang terdapat pada cakupan wilayah kajian dalam kasus ini peneliti mengambil sampel wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciwulan di Kabupaten Tasikmalaya.

Langkah-langkah penentuan batasa lokasi kajian dilakukan dengan cara berikut ini (perangkat lunak *Arcgis*):

- *Intersect.shp* Wilayah Administrasi Kab Tasikmalaya dengan SHP DAS Ciwulan.
- *Merge.shp* Permukiman

Penentuan Luas Area Permukiman

Penentuan Luas Area Permukiman: Area Pemukiman diukur dengan menggunakan informasi dari Badan Informasi Geospasial. Dilakukan penentuan area dari wilayah DAS Ciwulan, kemudian dari area kecamatan tersebut diukur luas permukiman yang terdapat dalam

polygon wilayah kecamatan. Luas area pemukiman ini menjadi dasar perhitungan potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga surya atap pada wilayah DAS Ciwulan.

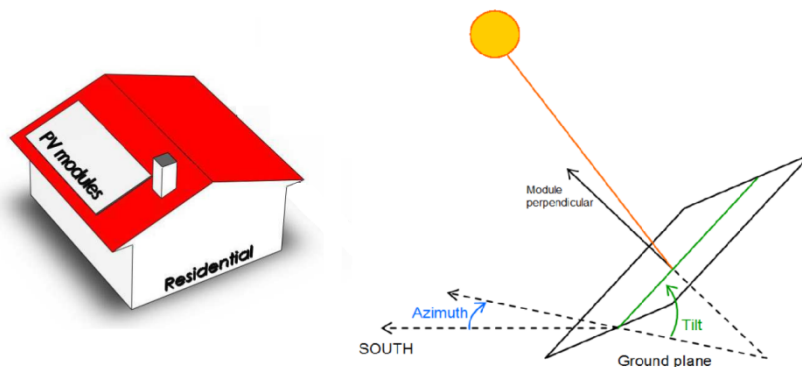
Data intensitas radiasi matahari global

Intensitas radiasi matahari global diperhitungkan secara empiris dilakukan dengan perhitungan-perhitungan yang sesuai dengan literatur yang tersedia. Perhitungan ini membutuhkan data berupa koordinat, ketinggian serta keadaan iklim dari lokasi yang akan dihitung besaran intensitas radiasinya.

Perhitungan Luas Atap Tersedia

Tahapan penentuan asumsi fasilitas pembangkit listrik tenaga surya jenis rooftop. Konfigurasi panel surya seperti luas atap tersedia untuk dipasangkan modul PV dan penentuan orientasi panel surya berguna untuk memberikan estimasi keluaran potensi energi.

Dalam perhitungan potensi pembangkit listrik tenaga surya, terdapat rugi-rugi listrik yang timbul akibat beberapa faktor seperti konfigurasi atap perumahan dan pemilihan modul PV. Perlu dilakukan pemodelan atau standarisasi model perumahan seperti gambar dibawah. Model perumahan berupa atap dua sisi dengan kemiringan sekitar $\theta = 30^{\circ}$ terhadap permukaan tanah.



Gambar 2 Model standar perumahan dan orientasi sudut *tilt* dan *azimuth*

Terdapat beberapa pendekatan atau faktor koreksi (C) dalam perhitungan luas permukaan atap tersedia sebagai potensi pembangkit listrik tenaga surya atap, diantaranya (Bergamasco & Asinari, 2011):

1. C_{RT} , faktor koreksi karena penggunaan lahan pemukiman sebagai atap. Diasumsikan hanya sebelah sisi dari atap yang dipasangkan solar PV, sehingga 50% dari luas pemukiman rumah tangga merupakan luasan atap.
2. C_F , faktor koreksi fitur atap dimana tidak semua luasan atap dapat dipasangkan modul PV karena sudah terdapat jendela, cerobong asap, atau lainnya. Nilai C_F adalah 0.7.
3. C_{ST} , faktor koreksi penggunaan atap untuk sistem solar termal. Umumnya di Indonesia tidak ada penggunaan sistem solar termal, sehingga nilai C_{ST} adalah 1.
4. C_{COV} , faktor koreksi terhadap eksploitasi area atap melibatkan bayangan beruntun dari seri modul PV. Harus ditetapkan jarak antar modul agar efek ini dapat diminimalisasi. Besarnya C_{COV} ini adalah 0.45.
5. C_{SH} , faktor koreksi akibat bayangan oleh bangunan lain yang berpotensi mengganggu penyerapan radiasi matahari. Besarnya C_{SH} ini adalah 0.46.

Sehingga luas atap tersedia adalah:

$$S_{roof}^{available} = C_{RT} \times C_F \times C_{ST} \times C_{COV} \times C_{SH} \times \frac{S_{roof}}{\cos\theta} \quad (1)$$

Perhitungan Daya Keluaran

Perhitungan daya keluaran yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya mengasumsikan adanya rugi-rugi energi yang diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya: rugi akibat efisiensi model PV, rugi akibat depresiasi model PV, rugi akibat sudut tilt dan azimuth, dan rugi instalasi.

Terdapat beberapa pendekatan akibat rugi-rugi yang ditimbulkan oleh modul PV, diantaranya (Bergamasco & Asinari, 2011):

1. η_{MOD} , efisiensi model PV. Model PV yang berbeda akan menghasilkan perbedaan produksi listrik yang berbeda untuk intensitas radiasi yang sama. Secara umum, terdapat 3 teknologi modul PV, yakni: mono crystalline, polycrystalline, dan thin film. Menurut berbagai penelitian nilai efisiensi untuk setiap modul PV adalah: mono-crystalline $\eta_{MC} = 15\%$, polycrystalline $\eta_{PC} = 12\%$ and thin film $\eta_{TF} = 6\%$.
2. η_{TH} , efisiensi akibat depresiasi atau penurunan keandalan dalam rentang waktu tertentu. Menurut penelitian, besarnya η_{TH} adalah sebesar 0.9 untuk semua teknologi modul PV.
3. η_{AZ} , faktor koreksi akibat sudut instalasi modul PV (sudut azimuth dan sudut tilt). Menurut penelitian, besarnya η_{AZ} adalah sebesar 0.9 untuk semua teknologi modul PV.
4. η_{inst} , faktor koreksi akibat rugi-rugi lainnya seperti kemungkinan debu yang menghalangi modul PV, rugi akibat panel elektrik, dan rugi akibat inverter. Menurut penelitian, besarnya η_{inst} adalah sebesar 0.9 untuk semua teknologi modul PV.

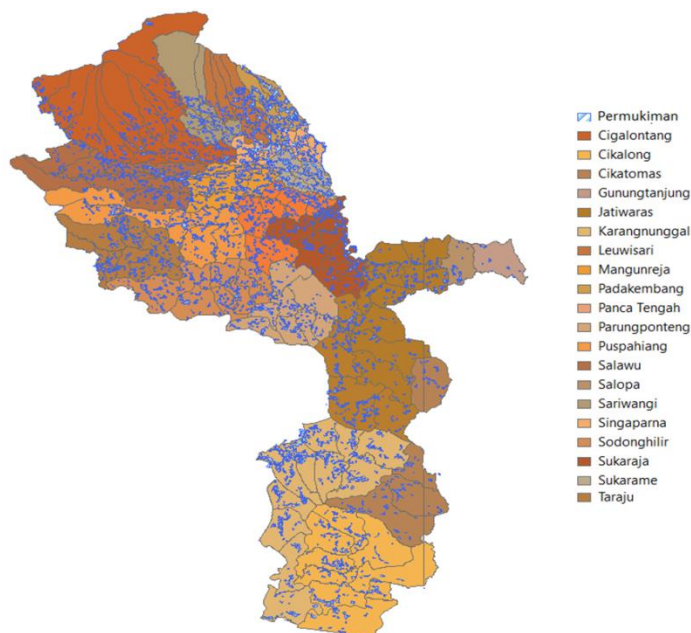
Sehingga total potensi daya yang dihasilkan adalah:

$$Output\ Daya = IR \times S_{roof}^{available} \times \eta_{mod} \times \eta_{TH} \times \eta_{AZ} \times \eta_{inst} \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Data Geografis dan Luas atap Tersedia

Berikut adalah data pemetaan geografis DAS Ciwulan beserta dengan daftar kecamatan yang dilingkupi wilayah DAS:



Gambar 3 Data Geografis DAS Ciwulan

Berikut adalah data luas atap tersedia dalam cakupan wilayah DAS Ciwulan:

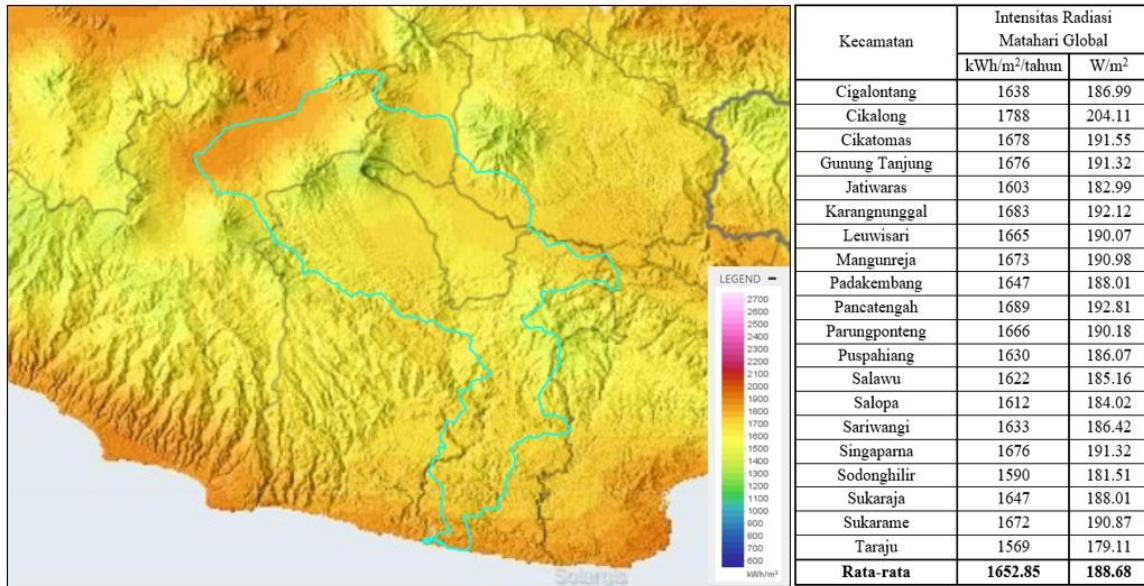
Tabel 1 Luas Atap Tersedia

No	Kecamatan	Area (km ²)	Kepadatan (org/km ²)	Area Permukiman (km ²)	Luas Atap Tersedia (m ²)
1	Cigalontang	119.75	585	4.87	365758.1
2	Cikalong	139.66	454	4.41	331047.6
3	Cikatomas	132.68	373	3.44	258390.7
4	Gunung Tanjung	36.31	787	1.99	149198.2
5	Jatiwaras	73.37	675	3.45	258574.0
6	Karangnunggal	136.33	615	5.83	437753.0
7	Leuwisari	53.26	710	2.63	197434.1
8	Mangunreja	29.64	1285	2.65	198858.4
9	Padakembang	37.71	978	2.57	192556.4
10	Pancatengah	201.85	229	3.22	241338.6
11	Parungponteng	47.27	734	2.41	181152.5
12	Puspahiang	34.90	970	2.36	176750.1
13	Salawu	50.50	1180	4.15	311125.7
14	Salopa	121.76	411	3.48	261281.7
15	Sariwangi	49.66	632	2.18	163865.1
16	Singaparna	24.82	2737	4.73	354682.0
17	Sodonghilir	93.11	696	4.51	338351.5
18	Sukaraja	43.08	1173	3.52	263837.3
19	Sukarame	19.92	2026	2.81	210713.0
20	Taraju	55.85	693	2.69	202078.0
	rata-rata:	72.82	1121.21	4.07	305161.1

Intensitas Matahari Global

Perhitungan empiric intensitas radiasi secara empiris dilakukan dengan perhitungan-perhitungan yang sesuai dengan literatur yang tersedia. Perhitungan ini membutuhkan data berupa koordinat, ketinggian serta keadaan iklim dari lokasi yang akan dihitung besaran

intensitas radiasinya. Data hasil Perhitungan empiris ini tersedia pada basis data Global Solar Atlas dan Solargis (The World Bank and the International Finance Corporation, 2019 [4]).

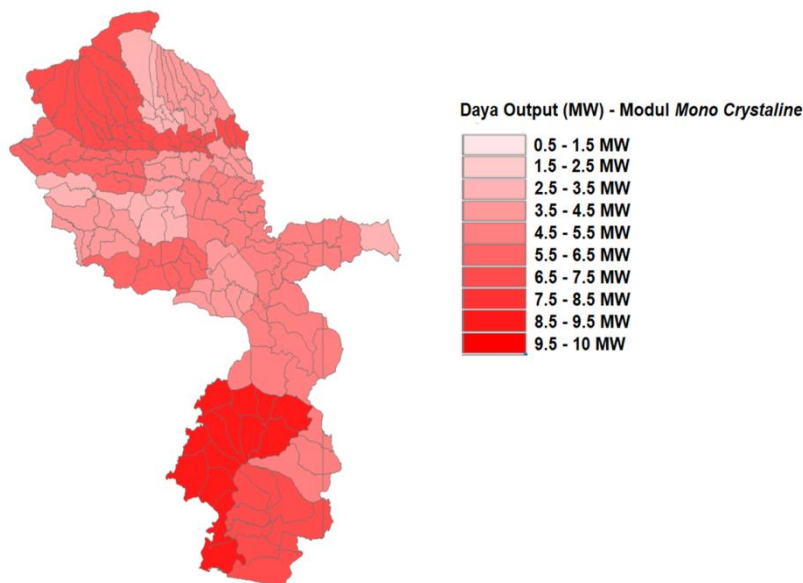


Gambar 4 Pemetaan Intensitas Radiasi Matahari

Dari data diatas cakupan wilayah DAS Ciwulan terpapar radiasi matahari dengan tingkat intensitas berwarna kuning hingga orange. Hal inimenunjukkan bahwa rata-rata intensitas radiasi matahari tahunan di wilayah DAS Ciwulan berkisar antara 1600 – 1800 kWh/m²/tahun atau 182.64 – 205.48 W/m².

Daya Keluaran PLTS Atap

Berikut adalah pemetaan potensi tenaga surya dibagi berdasarkan wilayah kecamatan:



Gambar 5 Pemetaan Potensi Daya Keluaran PLTS Atap di Wilayah DAS Ciwulan

Daya keluaran yang dapat dihasilkan jika seluruh permukiman wilayah DAS Ciwulan dipasangkan pembangkit listrik tenaga surya model rooftop adalah sebesar 98.18 MW (mono TKE-20

kristalin) atau 77.96 MW (polikristalin), atau 39.46 MW (*thin film*). Kecamatan Karangnunggal adalah kecamatan yang menghasilkan daya keluaran terbesar dengan 8.58 MW (mono kristalin) atau 6.81 MW (polikristalin), atau 3.45 MW (*thin film*).

Tabel 2 DayaKeluaran PLTS Atap

No	Kecamatan	Luas Atap Tersedia (m ²)	Rata-rata Intensitas Radiasi Tahunan (W/m ²)	Potensi Produksi Listrik (MW)		
				MC (15%)	PC (12%)	TF (6%)
1	Cigalontang	365758.1	186.99	6.98	5.54	2.80
2	Cikalong	331047.6	204.11	6.89	5.47	2.77
3	Cikatomas	258390.7	191.55	5.05	4.01	2.03
4	Gunung Tanjung	149198.2	191.32	2.91	2.31	1.17
5	Jatiwaras	258574.0	182.99	4.83	3.83	1.94
6	Karangnunggal	437753.0	192.12	8.58	6.81	3.45
7	Leuwisari	197434.1	190.07	3.83	3.04	1.54
8	Mangunreja	198858.4	190.98	3.87	3.08	1.56
9	Padakembang	192556.4	188.01	3.69	2.93	1.48
10	Pancatengah	241338.6	192.81	4.75	3.77	1.91
11	Parungponteng	181152.5	190.18	3.51	2.79	1.41
12	Puspahiang	176750.1	186.07	3.35	2.66	1.35
13	Salawu	311125.7	185.16	5.88	4.67	2.36
14	Salopa	261281.7	184.02	4.90	3.89	1.97
15	Sariwangi	163865.1	186.42	3.12	2.47	1.25
16	Singaparna	354682.0	191.32	6.92	5.50	2.78
17	Sodonghilir	338351.5	181.51	6.26	4.97	2.52
18	Sukaraja	263837.3	188.01	5.06	4.02	2.03
19	Sukarame	210713.0	190.87	4.10	3.26	1.65
20	Taraju	202078.0	179.11	3.69	2.93	1.48
			Rata-rata	4.91	3.90	1.97

Jumlah	98.18	77.96	39.46
--------	-------	-------	-------

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisa pemetaan PLTS atap di wilayah DAS Ciwulan, dapat disimpulkan bahwa daya keluaran adalah sebesar 98.18 MW (mono kristalin) atau 77.96 MW (poli kristalin), atau 39.46 MW (thin film). Kecamatan Karangnunggal adalah kecamatan yang menghasilkan daya keluaran terbesar dengan 8.58 MW (mono kristalin) atau 6.81 MW (poli kristalin), atau 3.45 MW (thin film).

Dalam penelitian ini penetapan nilai radiasi matahari global dilakukan *sampling* dalam cakupan wilayah kecamatan. Akurasi pemetaan daya keluaran PLTS atap akan lebih akurat jika nilai radiasi matahari global dilakukan per koordinat.

<i>Notasi</i>		
MTOE	Millions of tonnes of oil equivalent	[4.1868x10 ¹⁶ Joules]
S_{roof}	Luas atap permukiman	[m ²]
$S_{roof}^{available}$	Luas atap tersedia	[m ²]
θ	Kemiringan atap	[⁰]
IR	Intensitas Radiasi Matahari Global	[W/m ²]

Daftar Pustaka

- [1] KESDM. 2017. *Rencana Umum Energi Nasional*.
- [2] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes: Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- [3] Bergamasco, L., & Asinari, P. (2011). *Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy)*. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.022>
- [4] The World Bank and the International Finance Corporation, 2020, Global Solar Atlas, Agustus 2019, <https://globalsolaratlas.info/>.