

PERHITUNGAN ENERGI *SOLAR PHOTOVOLTAIC* DI WILAYAH KABUPATEN NIAS DAN KABUPATEN MENTAWAI DENGAN MENGGUNAKAN METODE PROBABILISTIK

Boy Harefa^{1*}, Stepanus², Bambang Widodo³, Robinson Purba⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia
Jakarta

*e-mail korespondensi: boyharefa450@gmail.com

Abstrak – Makalah ini membahas tentang perhitungan energi *solar photovoltaic* dengan pendekatan probabilistik di Kabupaten Nias dan Kabupaten Mentawai. Aplikasi yang digunakan adalah *@RISK Risk Analysis Project Model*. Dalam penelitian ini variabel tak tentu (*random variable*) yang di hitung adalah temperatur rata-rata, lama penyinaran matahari per bulan dan radiasi matahari sesuai zona wilayah. Ketiga variabel ini fluktuatif, sehingga pendekatan setiap variabel menggunakan fungsi distribusi *uniform*. Dari ketiga variabel tersebut dapat dihitung energi yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* dengan kapasitas 100 watt peak (Wp) pada Kabupaten Nias yaitu sebesar 21.062,57 kilowatt hour (kWh) dalam satu tahun dengan probabilitas 55 % dan *capacity factor* sebesar 24,04 %. Sementara pada Kabupaten Mentawai untuk kapasitas *solar photovoltaic* yang sama yaitu 100 Wp dihasilkan energi sebesar 19.249,47 kWh dengan probabilitas 50 % dan *capacity factor* 21,97 %. Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa temperatur rata-rata, lama penyinaran matahari dan radiasi matahari dapat menentukan energi listrik yang dapat dibangkitkan *solar photovoltaic*.

Kata Kunci : Temperatur, Lama Penyinaran dan Radiasi matahari, Solar Photovoltaic, Energi, Analisis Probabilistik, @RISK

Abstract – This paper discuss the calculation of solar photovoltaic energy using a probabilistic approach in Nias and Mentawai districts. The application used is the *@RISK Risk Analysis Project Model*. In this research, the calculated random variable is the average temperature, the length of sunshine per month and solar radiation according to the regional zone. These three variables are fluctuating, so that the approach of each variable uses a uniform distribution function. From the three variables, it can be calculated that the energy generated by solar photovoltaic with a capacity of 100 Wp in Nias Regency is 21.062,57 kWh in one year with a probability of 55% and a capacity factor of 24,04%. Meanwhile, in Mentawai District, the same solar photovoltaic capacity of 100 Wp produces 19.249,47 kWh of energy with a probability of 50% and a capacity factor of 21,97%. From the results of this study it can be seen that the average temperature, duration of solar radiation and solar radiation can determine the electrical energy that can be generated by solar radiation can determine the electrical energy that can be generated by solar photovoltaic

Keywords: temperature, solar radiation, solar photovoltaic, energy, probabilistic analysis, @RISK

PENDAHULUAN

Salah satu kebutuhan penting manusia pada zaman modern saat ini adalah kebutuhan akan energi listrik. Hal ini dapat dilihat pada kehidupan manusia sehari-hari yang selalu menggunakan peralatan teknologi dengan menggunakan energi listrik seperti telepon genggam, televisi, kipas, lampu dan sebagainya. Peningkatan kebutuhan energi listrik yang tidak cukup diimbangi oleh penyediaan energi listrik menjadi kendala dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik saat ini.

Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa, sebanyak 41% kebutuhan energi, masih disuplai oleh minyak bumi, disusul 29% batubara dan 23 gas bumi^[1]. Data tersebut menunjukkan bahwa, Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil sebagai penopang kebutuhan energi listrik. Maka dari itu dibutuhkan pengganti sumber energi yang bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan pasokan penyediaan energi listrik hingga bertahun-tahun mendatang. Tujuan dari mendorong pemanfaatan energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap gas bumi, batubara dan minyak bumi yang cenderung semakin mahal dan dan cadangannya semakin menipis.

Melihat kondisi geografis Indonesia yang memiliki peluang sebagai sumber energi terbarukan untuk dikembangkan dan ramah lingkungan adalah *solar photovoltaic* dimana alat ini mengubah energi matahari menjadi listrik. *Solar photovoltaic* adalah hamparan semikonduktor dari bahan utama pasir silika untuk menyerap photon dari sinar matahari dan mengkonversinya menjadi energi listrik. Dengan potensinya yang sangat besar, *solar photovoltaic* diyakini menjadi pembangkit energi utama dimasa yang akan datang.

Beberapa penelitian terhadap potensi energi *solar photovoltaic*, antara lain

dilakukan oleh: Andri Suherman (2017)^[2] yang membahas tentang Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Panjang. Pengujian dilakukan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH), merupakan konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Nilai kontribusi dari masing-masing pembangkit adalah, PLTS sebesar 63% dan PLTD sebesar 37%. Penelitian berikutnya dilakukan oleh Nazaroni Parapat, Charles OP Marpaung, Eva Magdalena Silalahi, dan Robinson Purba(2018)^[3] untuk menghitung energi yang dibangkitkan oleh *Solar Photovoltaic* pada daerah yang berbeda iklim. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa, terdapat perbedaan besarnya energi listrik yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* dengan kapasitas yang sama pada iklim di Indonesia. Besar energi yang dibangkitkan berada pada rentang 157,80 kWh – 229,73 kWh dan probabilitas energi berada pada rentang 31 % - 83 %. Penelitian yang dilakukan oleh Subhan Nafis, Mohamad Aman, Adjar Hadiyono (2015)^[4] membahas tentang Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Sistem Ketenagalistrikan Nias, memperlihatkan perbandingan biaya energi PLTS dan PLTD bahwa, biaya energi PLTS lebih murah Rp 307,02/kWh dari biaya bahan bakar dari PLTD. Dengan kata lain, jika PLTS diterapkan 20% dari kapasitas sistem maka 1,95 juta liter per tahun dengan biaya Rp. 2,16 milyar pertahun penggunaan bahan bakar dapat dihemat.

Tujuan penelitian ini adalah menghitung besarnya energi yang dibangkitkan *solar photovoltaic* di Kabupaten Nias dan Kabupaten Mentawai dengan menggunakan metode probabilitistik.

LANDASAN TEORI

Energi surya adalah energi yang dipancarkan oleh matahari dalam bentuk radiasi matahari dan panas. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan secara langsung

ataupun diubah menjadi bentuk energi lain dengan menggunakan serangkaian teknologi, salah satunya *solar photovoltaic*. Secara umum *photovoltaic* merupakan teknologi paling langsung untuk mengubah radiasi matahari menjadi listrik berdasarkan efek *photovoltaic*.

Prinsip konversi atau perubahan cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik pada *solar photovoltaic* melalui fotolistrik. Efek fotolistrik adalah peristiwa terpentalnya sejumlah elektron pada permukaan sebuah logam ketika disinari seberkas cahaya (Krane, 1992). Menurut teori kuantum Einstein, cahaya dipandang sebagai paket energi (foton) yang besar energinya bergantung pada frekuensi cahaya. Pada *solar photovoltaic* energi foton akan diserap oleh elektron sehingga elektron akan terpental keluar menghasilkan arus dan tegangan listrik (Anonim, 2007).

Besarnya energi surya yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* di suatu daerah sangat dipengaruhi oleh *capacity factor*. Dalam jurnal penelitian IEEE, Wajid Muneer dan kawan-kawan^[6], *capacity factor* di atas dapat dibuat dalam perhitungan matematis. Perhitungan matematis energi yang dibangkitkan suatu *solar photovoltaic* dapat ditentukan berdasarkan persamaan [2.1].

$$E = P \times t \quad [2.1]$$

Keterangan:

E = Energi (kWh)

P = Daya (W)

t = Waktu (jam/hour)

Namun radiasi yang diberikan matahari tidak semuanya sampai ke bumi. Di dalam proses pembangkitan energi surya dengan *photovoltaic* pun, tidak semua energi tersebut dapat diserap. Sebuah *solar photovoltaic* hanya mampu menyerap energi dari surya sebesar 10-20%, secara

umum lebih besar yaitu 20-30%^[6]. Dan energi yang dihasilkan *solar photovoltaic* sesuai dengan persamaan [2.2]

$$E^{PV} = P^{PV} \times t \quad [2.2]$$

Besar daya yang dihasilkan oleh *solar photovoltaic* terbatas, sehingga daya yang dihasilkan oleh *solar photovoltaic*, dipengaruhi oleh *capacity factor*. Dengan demikian, energi yang dihasilkan *solar photovoltaic* sesuai persamaan [2.3].

$$E^{PV} = t P^{PV} CF \quad [2.3]$$

Jika perhitungan energi dilakukan untuk menentukan besar energi yang dihasilkan dalam setahun, maka nilai t diubah menjadi 8760 dengan asumsi bahwa, satu tahun adalah 365 hari. Dengan demikian, energi yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* sesuai persamaan [2.4]^[3]

$$E_{k,i}^{PV} = 8760 Cap_{k,i}^{PV} CF_i^{PV} \quad [2.4]$$

Keterangan:

PV = Photovoltaic

i = Zona

k = Tahun

Faktor lainnya yang mempengaruhi pembangkitan energi surya adalah *capacity factor*. *Capacity factor* merupakan faktor efisiensi yang dapat dihitung dengan melihat perbandingan daya keluaran (*output*), P_o , dengan daya perkiraan (*rated*), P_r , sehingga energi yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* ditentukan berdasarkan persamaan [2.5]

$$E_{k,i}^{PV} = 8760 Cap_{k,i}^{PV} \frac{P_o}{P_r} \quad [2.5]$$

Daya keluaran, P_o , mempunyai pengaruh dalam penentuan *capacity factor*, begitu juga dengan daya perkiraan, P_r . Daya keluaran, P_o , sangat bergantung pada lamanya penyinaran matahari dalam satu bulan, sedangkan daya perkiraan secara

ideal selama jumlah jam dalam sebulan sehingga energi dapat ditentukan sesuai persamaan [2.6].

$$E_{k,i}^{PV} = 8760 \text{ Cap}_{k,i}^{PV} \frac{P_o \times n_{d,m}}{Pr \times n_m} \quad [2.6]$$

Besar P_o dari suatu *solar photovoltaic* dipengaruhi oleh beberapa faktor-faktor yaitu, luasnya modul *solar photovoltaic*, radiasi matahari dan efisiensi dari *solar photovoltaic* dan P_o ditentukan berdasarkan persamaan [2.7].

$$P_{o,i,m}^{PV} = A I_i \eta_i \quad [2.7]$$

Dengan memsubstitusikan persamaan [2.7] ke dalam persamaan [2.6], diperoleh persamaan [2.8] yaitu energi yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic*.

$$E_{k,i}^{PV} = 8760 \text{ Cap}_{k,i}^{PV} \frac{(A I_i \eta_i) n_{d,m}}{Pr \times n_m} \quad [2.8]$$

Efisiensi sistem *solar photovoltaic* dipengaruhi oleh suhu rata-rata matahari, radiasi matahari serta efisiensi modul solar *photovoltaic* dan efisiensi inverter yang digunakan, dan efisiensi sistem *solar photovoltaic* ditentukan berdasarkan persamaan [2.9].

$$\eta_i = \left[1 - 0.0042 \left(\frac{I_i}{18} + T_i - 20 \right) \right] \eta_o \eta_{inv} \quad [2.9]$$

Dengan memsubstitusikan persamaan [2.9] ke dalam persamaan [2.8], maka diperoleh persamaan [2.10] dan persamaan ini merupakan persamaan untuk menentukan energi yang dibangkitkan oleh sebuah modul *solar photovoltaic*.

$$E_{k,i}^{PV} = 8760 \text{ Cap}_{k,i}^{PV} \frac{(A I_i | 1 - 0.0042 \left(\frac{I_i}{18} + T_i - 20 \right) \eta_o \eta_{inv} |) \times n_{d,m}}{Pr \times n_m} \quad [2.10]$$

Keterangan:

$E_{k,i}^{PV}$ = Energi yang dibangkitkan photovoltaic(kWh)

8760 = Jumlah jam dalam setahun (jam)

$\text{Cap}_{k,i}^{PV}$ = Total kapasitas solar photovoltaic (MW)

A = Luas sebuah modul solar photovoltaic (m²)

I_i = Radiasi matahari sesuai zona ($\frac{kW}{m^2}$ -hari)

T_i = Suhu rata-rata dalam zona (°C)

η_o = Efisiensi modul solar photovoltaic (%)

η_{inv} = Efisiensi inverter (%)

$n_{d,m}$ = Jumlah jam penyinaran matahari perbulan

Pr = Nilai daya perkiraan dari tipe modul solar photovoltaic (kW)

n_m = Jumlah jam per bulan (jam)

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan melakukan perhitungan energi yang dibangkitkan *solar photovoltaic* tiap bulan selama satu tahun. Perhitungan besar energi yang dihasilkan *solar photovoltaic* dilakukan berdasarkan variabel tentu dan variabel tidak tentu. Variabel tentu adalah karakteristik *solar photovoltaic* meliputi kapasitas *solar photovoltaic*, luas modul *solar photovoltaic*, nilai daya *solar photovoltaic*, efisiensi modul *solar photovoltaic*, jumlah jam perbulan dan efisiensi inverter. Variabel tidak tentu adalah karakteristik meliputi suhu rata-rata, lama penyinaran matahari dan radiasi matahari. Dari perhitungan energi yang dihasilkan selama satu tahun dianalisis secara probabilistik. Pengambilan sampel mengacu pada data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tentang proyeksi perubahan suhu sehingga pengambilan sampel ditentukan daerah-daerah yang dilakukan penelitian yaitu Kabupaten Nias dan Kabupaten Mentawai. Data yang diperoleh dari BMKG kemudian diolah, dianalisis dengan menggunakan aplikasi komputer @RISK.

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

A. Karakteristik Solar Photovoltaic

Karakteristik *solar photovoltaic* yang diperoleh dari PT. Jaya Cipta Alamsemesta (Jatas), diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1- Data Pasti (Input tetap)

| Karakteristik | Angka |
|---|------------------------|
| Kapasitas total solar photovoltaic ($Cap_{k,i}^{PV}$) | 0,0001 MW |
| Luas modul solar photovoltaic (A) | 0,77m ² |
| Nilai daya solar photovoltaic (Pr) | 0,077 kW |
| Efisiensi solar photovoltaic (η_o) | 12,96% |
| Jumlah jam per bulan (n_m) | (24 x jumlah hari) jam |
| Efisiensi inverter (η_{inv}) | 90% |

B. Data Suhu rata-rata dan Lama Penyinaran Matahari

Berdasarkan data BMKG, maka diperoleh karakteristik terkait iklim yang terdiri dari temperatur rata-rata (T_i) dan lama penyinaran matahari ($N_{d,m}$).

Tabel 2: Data Cuaca dan Iklim menurut Data BMKG

| Bulan | Kabupaten Nias | | Kabupaten Mentawai | |
|-----------|----------------|------------------|--------------------|------------------|
| | Ti | N _{d,m} | Ti | N _{d,m} |
| | Januari | 26,31 | 4,65 | 25,84 |
| Februari | 27,25 | 6,41 | 26,04 | 5,08 |
| Maret | 26,82 | 6,29 | 26 | 5,52 |
| April | 26,99 | 4,98 | 26,07 | 4,86 |
| Mei | 27,02 | 6,21 | 26,28 | 6,01 |
| Juni | 26,65 | 4,69 | 25,76 | 3,34 |
| Juli | 26,71 | 6,04 | 25,51 | 5,7 |
| Agustus | 26,15 | 4,96 | 25,04 | 4,15 |
| September | 26,55 | 5,08 | 25,06 | 3,97 |
| Oktober | 25,84 | 2,76 | 24,87 | 2,36 |
| November | 26,36 | 2,92 | 25,29 | 4,28 |
| Desember | 26,4 | 4,56 | 25,74 | 4,19 |

C. Perhitungan Energi

Berdasarkan data iklim pada tabel 1 dan tabel 2, dapat ditentukan jumlah energi yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* dengan menggunakan persamaan [2.10].

$$E_{k,i}^{PV} = 8760 \text{ Cap}_{k,i}^{PV} \frac{(A_i | 1 - 0,0042 \left(\frac{I_i}{18} + T_i - 20 \right) \eta_o \eta_{inv}) \times n_{d,m}}{Pr \times n_m}$$

Data iklim pada bulan Januari di Kabupaten Nias, seperti diperlihatkan pada tabel 3, dapat digunakan sebagai contoh untuk menghitung energi yang dibangkitkan oleh *solar photovoltaic* sesuai persamaan [2.10].

Tabel 3: Contoh data iklim bulan Januari di Kabupaten Nias.

| Januari | |
|--------------------------|--------|
| Temperatur rata-rata | 26,31 |
| Lama penyinaran matahari | 144,15 |
| Radiasi matahari | 1000 |

Dengan menggunakan persamaan [2.10], maka diperoleh energi yang dibangkitkan pada bulan Januari, yaitu:

$$E_{k,i}^{PV} = 0,876 \frac{(0,77 \times 1000 | 1 - 0,0042 (61,866) 0,1296 \times 0,9) \times 144,15}{57,288}$$

$$E_{k,i}^{PV} = 0,876 \frac{(0,77 \times 1000 | 1 - 0,03031) \times 144,15}{57,288}$$

$$E_{k,i}^{PV} = 0,876 \frac{(0,77 \times 1000 | 0,9697) \times 144,15}{57,288}$$

$$E_{k,i}^{PV} = 0,876 \frac{107.532,33635}{57,288}$$

$$E_{k,i}^{PV} = 0,876 \times 1878,79375$$

$$E_{k,i}^{PV} = 1.645,8 \text{ kWh.}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, maka dapat diperoleh data energi yang dibangkitkan di Kabupaten Nias dan Kabupaten Mentawai sepanjang tahun 2019.

Tabel 4: Hasil Perhitungan Energi Yang Dibangkitkan di Kabupaten Nias Dan Kabupaten Mentawai

| Bulan | Energi yang dibangkitkan (kWh) | |
|--------------|--------------------------------|--------------------|
| | Kabupaten Nias | Kabupaten Mentawai |
| Januari | 1.645,8 | 1.738,2 |
| Februari | 2.267,6 | 1.798,2 |
| Maret | 2.224,6 | 1.953,9 |
| April | 1.747,8 | 1.720,3 |
| Mei | 2.197 | 2.127,2 |
| Juni | 1.659,6 | 1.182,4 |
| Juli | 2.141,4 | 2.018,2 |
| Agustus | 1.756,1 | 1.469,7 |
| September | 1.797,7 | 1.406 |
| Oktober | 9.77,1 | 835,9 |
| November | 1.033,4 | 1.515,6 |
| Desember | 1.613,8 | 1.483,4 |
| Total | 21.062,6 | 19.249,5 |

D. Perhitungan Secara Probabilistik

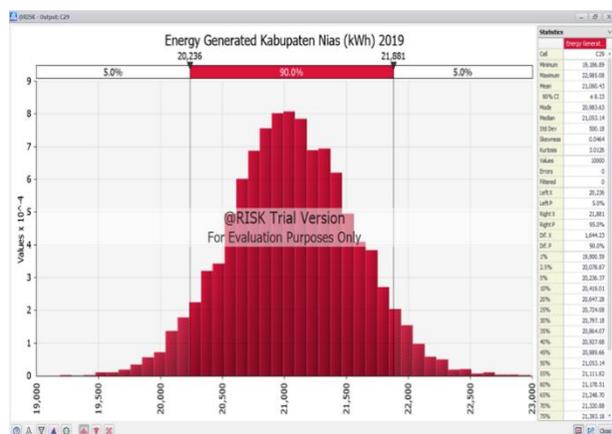
Untuk memperoleh hasil perhitungan secara probabilistik terhadap data-data di atas, maka dilakukan pendekatan perhitungan dengan menggunakan aplikasi @RISK pada

lembar kerja Microsoft Excel yang juga digunakan sebagai lembar perhitungan energi yang dibangkitkan.

| | Januari | Februari | Maret | April | Mei | Juni | Juli | Agustus | September | Oktober | November |
|--|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| 12. Temperatur rata-rata (°C) | 26.31 | 27.25 | 26.82 | 26.99 | 27.02 | 26.65 | 26.71 | 26.15 | 26.55 | 25.94 | 26.36 |
| 14. Jumlah hari per bulan (hari) | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 |
| 17. Jumlah jam per bulan (jam) | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 | 744 | 720 |
| 20. Temperatur Minimum | 23.3 | 23.8 | 23.7 | 23.9 | 23.9 | 23.6 | 23.5 | 22.9 | 23.1 | 23.2 | 23.1 |
| 21. Temperatur Maksimum | 31.2 | 32.2 | 31.4 | 31.7 | 30.9 | 31.8 | 31.6 | 31.3 | 31.8 | 30.3 | 31.5 |
| 24. Efisiensi Sistem Solar PV (%) | 0.086333 | 0.085872 | 0.086083 | 0.086 | 0.085985 | 0.086166 | 0.086137 | 0.086411 | 0.0862153 | 0.0855611 | 0.08630831 |
| 25. Total Energi yang dibangkitkan dari PV (kWh) | 1545.81 | 2267.66 | 2224.67 | 1747.85 | 2197.05 | 1659.68 | 2141.46 | 1756.13 | 1797.79 | 977.10 | 1033.47 |
| 26. Total Energi yang dibangkitkan dari PV (kWh) | 21062.57 | | | | | | | | | | |

Gambar 1: Perhitungan dengan @RISK di Kabupaten Nias

Setelah memasukkan data (input) pada gambar 1 dari masing-masing karakteristik dan menghitung energi yang dibangkitkan dengan menggunakan model matematis, maka diperoleh jumlah energi yang dibangkitkan. Kemudian dilakukan pengolahan data secara probabilistik dengan menggunakan aplikasi @RISK untuk melihat probabilitas energi yang dibangkitkan. Hasil pengolahan data dengan menggunakan @RISK.



Gambar 2: Grafik Probabilitas Energi dengan @RISK di Kabupaten Nias

Berdasarkan pengolahan data tersebut di atas, maka diperoleh data energi dan

probabilitas di Kabupaten Nias dan Kabupaten Mentawai dengan iklim yang berbeda seperti pada tabel 5.

Tabel 5: Data Energi dan Probabilitas Energi

| Daerah | T _i (°C) | N _{d,m} (jam) | I _i (kW/m ²) | E _{k,i} ^{PV} (kWh) | Probabilitas energi yang dibangkitkan (%) |
|----------|---------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Nias | 26,58 | 1808 | 1 | 21.062,57 | 55 |
| Mentawai | 25,63 | 1653 | 1 | 19.249,47 | 50 |

KESIMPULAN

- Besarnya energi yang dibangkitkan dalam waktu satu tahun oleh sistem solar photovoltaic adalah sebagai berikut:
Kabupaten Nias: 21.062,57 kWh
Kabupaten Mentawai :19.249,47 kWh
- Probabilitas energi yang dibangkitkan pada Kabupaten Nias sebesar 55 % dan pada Kabupaten Mentawai sebesar 50 %.

REFERENSI

[1] Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN Persero 2018-2027.

[2] Andri Suherman, Widia Tri Priane, Ajra Salamah, Rosdiansyah, 2017. “Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Panjang”, ISSN 2442-515, Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika, Vol. 3 No. 1, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

[3] Nazaroni Parapat, Charles OP Marpaung, Eva Magdalena Silalahi, Robinson Purba, “Analisis Probabilistik Terhadap Energi yang Dibangkitkan Oleh Solar Photovoltaic Pada Daerah berbeda Iklim”, 2018, Prosiding Seminar Nasional 2018,

halaman 80-88.

- [4] Subhan Nafis, Mohamad Aman, Adjar Hadiyono, 2015. “Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Sistem Ketenagalistrikan Nias”, ISSN 1978-2365, Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Vol. 14 No. 2.
- [5] Goetzberger, A. dan V.U. Hoffman. 2005. Photovoltaic Solar Energy Generation. Freiburg: Springer Science Media.
- [6] Wajid Muneer, dan rekan “Large-Scale Solar Pv Investment Models, Tools And Analysis The Ontario Case” laporan penelitian IEEE 2011.
- [7] Brilliant, Widodo, B., Purba, R., & Soebagio, A. (2020). Rancang Bangun Sistem PLTS Terhubung dengan Jaringan Listrik PLN Pada Kantor di Bintaro - Jakarta Selatan. *Jurnal LEKTROKOM*, 2(1), 5. Retrieved from <http://ejournal.fakultasteknikuki.asia/ojs/index.php/elektro/article/view/52>
- [8] Luque, Antonio dan Steven Hegedus. 2003. Hanbook of Photovoltaic Science and Enginnering. Chicester: Wiley Publishing.
- [9] Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN Persero 2019-2028”.
- [10] Data Online BMKG 2019 [online] Available: <http://dataonline.bmkg.go.id/>
- [11] Creswell, John W. 2014. Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed. California: Pustaka Pelajar.
- [12] Suharsaputra, Uhar. 2012. Metode Penelitian: Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan. Bandung: Refika Aditama.
- [13] [PMI] Project Management Instute. 2017. “PMI Risk Management Professional (PMI-RMP) Handbook/@RISK.