
PREDIKSI *POWER SOLAR ENERGY* MELALUI *SOLAR PHOTOVOLTAIC (SPV)* MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK – RADIAL BASIC FUNCTION (ANN-RBF)*

Harmini

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro
Universitas Semarang
Email : harmini@usm.ac.id

Titik Nurhayati

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro
Universitas Semarang
Email : titiknur@usm.ac.id

ABSTRAK

Sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya atau *Solar Photovoltaic Array (SPV)* yang dipengaruhi oleh radiasi matahari dan temperatur. Tujuan penelitian ini adalah membuat model yang digunakan untuk memprediksi energi listrik yang dihasilkan oleh solar energi melalui SPV berdasarkan nilai radiasi matahari dan temperatur selama 5 tahun terakhir dan memprediksi selama 5 tahun ke depan menggunakan kontrol *Artificial Neural Network (ANN)* yang disimulasikan menggunakan *software PVSYS* dan *MATLAB* dengan variasi kondisi klimatologi. Variabel *input ANN-RBF* adalah daya dan energi listrik keluaran SPV sesuai kondisi radiasi dan suhu selama 5 tahun terakhir yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon ANN-RBF. Parameter NN-RBF yang digunakan untuk pola pembelajaran data energi listrik antara lain *error goal (MSE)* sebesar $1e-5$, *spread constant 2*, *number of neurons* sebesar $K=20$ dan $K_i=10$. Tingkat akurasi rata-rata proses pembelajaran dan pengujian data untuk menentukan pola prediksi energi listrik panel SPV pada tahun 2018 sebesar 92.35%, tahun 2019 sebesar 76.83%, dan tahun 2020 sebesar 87.36%, sehingga prosentase *error* rata-rata tahun 2018 sebesar 7.6%, tahun 2019 sebesar 23.16% dan tahun 2020 sebesar 12.63%. Tingkat akurasi menggunakan NN-RBF masih rendah dan *error* lebih dari 10%. Prediksi rata-rata energi listrik selama 5 tahun kedepan dari tahun 2021-2025 berkisar antara 936 Wh-1894 Wh dari panel SPV dengan ukuran 240 Wp.

Kata kunci: *Artificial Neural Network, Solar Photovoltaic, Radial Basic Function.*

ABSTRACT

Sunlight that reaches the earth's surface can be converted into electrical energy using solar cells or Solar Photovoltaic Array (SPV) which is influenced by solar radiation and temperature. The purpose of this study is to create a model that is used to predict electrical energy produced by solar energy through SPV based on the value of solar radiation and temperature for the last 5 years and predict for the next 5 years using Artificial Neural Network (ANN) control which is simulated using PVSYS software and MATLAB with a variety of climatological conditions. The input variables for ANN-RBF are SPV output power and electrical energy according to radiation and temperature conditions for the last 5 years which have a significant influence on the ANN-RBF response. The NN-RBF parameters used for learning patterns of electrical energy data include error goal (MSE) of $1e-5$, spread constant 2, number of neurons of $K=20$ and $K_i=10$. The average accuracy rate of the learning process and data testing to determine the predicted pattern

of SPV panel electrical energy in 2018 was 92.35%, in 2019 it was 76.83%, and in 2020 it was 87.36%, so the average error percentage in 2018 was 7.6%, in 2019 it was 23.16% and in 2020 it was 12.63%. The level of accuracy using NN-RBF is still low and the error is more than 10%. The average prediction of electrical energy for the next 5 years from 2021-2025 ranges from 936 Wh-1894 Wh from SPV panels with a size of 240 Wp.

Keywords: Artificial Neural Network, Solar Photovoltaic, Radial Basic Function

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin hari semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk khususnya di Indonesia[1]. Hal ini menuntut pemerintah untuk terus berupaya untuk terus meningkatkan produksi energi baik dari sumber energi fosil maupun sumber energi alternatif[1]. Sinar matahari yang sampai kepermukaan bumi dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya atau *Solar Photovoltaic Array* (SPV). Energi yang dihasilkan oleh system SPV dipengaruhi oleh Radiasi matahari dan temperatur yang selalu berubah-ubah dari musim ke musim[2][3]. Radiasi matahari merupakan energi panas yang dipancarkan matahari dan diterima hingga ke bumi yang memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kehidupan. Pada saat kondisi radiasi matahari rendah maka energi yang dihasilkan oleh sistem SPV akan menurun, begitu sebaliknya jika radiasi matahari tinggi maka energi yang dihasilkan juga semakin besar. Temperatur juga sangat mempengaruhi energi matahari yaitu semakin besar temperatur yang mengenai panel SPV maka kerugian daya akan semakin besar, begitu sebaliknya[4][5]. Jadi performansi dari sistem SPV sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari dan temperatur. Radiasi matahari yang diterima oleh SPV array tergantung dari cuaca dan posisi matahari terhadap panel SPV.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) merupakan algoritma penyelesaian masalah komputasi yang memiliki prinsip kerja menirukan jaringan syaraf manusia. Salah satu jenis algoritma JST adalah metode RBF (*Radial Basic Function*). Metode ini dipilih karena mampu melakukan proses pembelajaran terhadap pola yang diberikan, mampu menemukan hubungan antara karakteristik radiasi matahari dengan energi listrik yang dihasilkan oleh SPV. RBF juga memiliki akurasi dan validitas yang tinggi[6][7][8].

Pada penelitian ini akan dibahas tentang analisa prediksi energi listrik dari energi matahari atau solar energi melalui SPV yang dapat dihasilkan berdasarkan nilai radiasi matahari dan temperature matahari selama 5 tahun terakhir menggunakan *Artificial Neural Network* metode RBF (*Radial Basic Function*). Data radiasi matahari dan temperatur diambil berdasarkan data BMKG dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2020. Data ini akan diolah untuk mendapatkan perkiraan energi listrik yang dihasilkan oleh radiasi matahari selama 5 Tahun kedepan yaitu tahun 2021 sampai dengan 2025.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana membuat model untuk melakukan analisa prediksi produksi energi listrik yang dihasilkan oleh radiasi matahari melalui SPV menggunakan ANN – RBF selama 5 Tahun kedepan yaitu tahun 2021 sampai dengan 2025. Tujuan penelitian ini adalah membuat model yang digunakan untuk memprediksi energi listrik yang dihasilkan oleh energi matahari atau solar energi melalui SPV berdasarkan nilai radiasi matahari dan temperatur selama 5 tahun terakhir dan memprediksi selama 5 tahun ke depan. Data radiasi matahari dan temperatur berdasarkan data nyata /real yang ada dilapangan untuk daerah Kota Semarang. Pada penelitian ini, sistem prediksi menggunakan kontrol *Artificial Neural Network* (ANN) dikembangkan dan disimulasikan menggunakan software PVSYS dan MATLAB dengan variasi kondisi klimatologi baik radiasi matahari maupun temperatur. Variabel *input* ANN-RBF adalah daya dan energi listrik keluaran SPV yang sesuai dengan kondisi radiasi dan suhu selama 5 tahun terakhir yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon ANN-RBF. Variabel keluaran dari ANN-RBF adalah daya dan energi listrik keluaran SPV untuk 5 tahun kedepan.

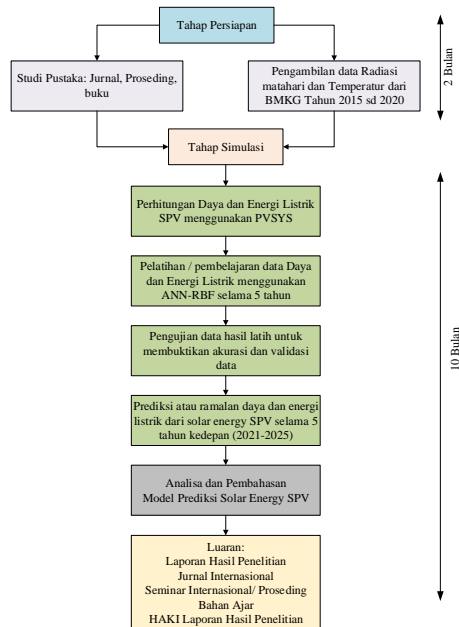
Metode yang akan dilakukan antara lain (1) melakukan perhitungan daya dan energi listrik yang dihasilkan berdasarkan variasi nilai radiasi matahari dan temperature menggunakan software bantu PVSYS, (2) melakukan pembelajaran atau pelatihan terlebih dahulu menggunakan ANN-RBF secara terus menerus dari data 5 tahun yaitu Tahun 2015-2020, sampai didapatkan nilai yang memiliki akurasi dan validasi yang tinggi, (3) melakukan pengujian dari data hasil pelatihan ANN-RBF dan (4) melakukan prediksi energi listrik untuk 5 tahun ke depan.

Urgensi penelitian ini dikarenakan sebagian besar wilayah Indonesia khususnya kota Semarang mendapatkan cukup penerangan sinar matahari, sehingga memungkinkan penggunaan sistem SPV sebagai salah satu sumber energi alternatif, metode yang akan diterapkan ini diharapkan mampu memodelkan atau memetakan energi listrik yang dihasilkan oleh energi matahari, dan sistem *Artificial Neural Network – Radial Basic Function* ini diharapkan mampu menghasilkan model prediksi energi listrik dari sumber energi matahari sehingga dapat membantu masyarakat atau pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan khususnya PLTS atau Pembangkit Listrik Energi Surya[9][10].

Temuan yang diharapkan adalah terbentuknya sebuah model perkiraan atau prediksi energi listrik dari sumber energi matahari menggunakan *Artificial Neural Network - RBF*, dimana metode ini merupakan pengembangan dari gagasan atau penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan yaitu optimasi perencanaan *rooftop* SPV menggunakan PVSYS sebagai pengembangan *green energy system*. Kontribusi hasil penelitian terhadap pembangunan pengembangan IPTEKS, pengembangan institusi dan kebutuhan serta potensi masyarakat adalah penelitian ini menggunakan sumber energi yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan setiap hari, sehingga tidak akan mengganggu lingkungan. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk mendukung pengembangan IPTEK dalam hal proses pemetaan kebutuhan dan produksi energi terutama sumber energi matahari atau pembangkit listrik tenaga surya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu satu tahun (12 bulan) dengan membagi dalam dua tahapan yaitu tahap persiapan, tahap kedua yaitu tahap perencanaan.

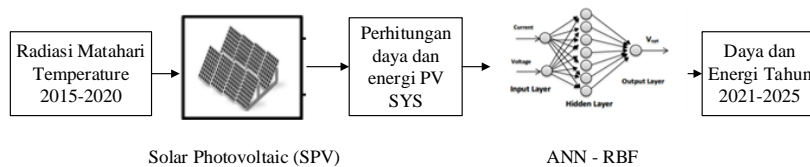


Gambar 1. Alur Penelitian Prediksi Energi Listrik SPV Dengan Metode ANN-RBF

Tahap I Persiapan, meliputi: (1) Studi pustaka dan literatur yang berkaitan dengan sistem *prediksi ANN RBF*, (2) pengambilan data radiasi matahari dan temperatur selama 5 tahun terakhir dari BMKG Kota Semarang.

Tahap II Perancangan, meliputi (1) Perhitungan Daya dan energi listrik yang dihasilkan oleh energi matahari atau solar energi melalui SPV menggunakan PVSYS, (2) Pelatihan atau pembelajaran data daya dan energi listrik menggunakan ANN-RBF selama 5 tahun terakhir (2015-2020), (3) Pengujian data Hasil pelatihan ANN-RBF, (4) Memprediksi atau meramal daya dan energi listrik selama 5 Tahun ke depan (2021-2025) dan (5) Pemodelan sistem prediksi.

Variabel yang amati adalah parameter radiasi matahari, temperature, daya dan energi keluaran sistem SPV. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah prediksi *power solar* energi menggunakan ANN-RBF ditunjukkan pada Gambar 2. Berikut.



Gambar 2. Model Sistem ANN-RBF

Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis monokristalin tipe Panasonic VBHN240SE10 dengan spesifikasi panel surya seperti Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

Model	VBHN240SE10 dan VBHN240SE11
<i>cell number in series</i>	72
<i>Rated Power Watts</i>	240
<i>Maximum Power Volatge (Vpm)</i>	43,7
<i>Maximum Power Current (Ipm)</i>	5
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	51
<i>Short Circuit Current</i>	52,4
<i>Cell Type</i>	HIT*

Teknik pengumpulan dan pengambilan data menggunakan teknik pengumpulan data primer. Data radiasi matahari dan temperatur diambil dari data BMKG kota Semarang sebagai data input yang mengenai panel SPV, selanjutnya dilakukan perhitungan daya dan energi listrik SPV menggunakan PVSYS, melakukan peramalan menggunakan ANN-RBF dan menganalisa hasil peramalan untuk menentukan atau merencanakan energi listrik yang dihasilkan oleh energi matahari atau solar energi melalui SPV.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini untuk memprediksikan dan menganalisa suhu, radiasi dan energi matahari sebagai pembangkit listrik tenaga surya menggunakan *Artificial Neural Network – Radial Basic Function* (ANN-RBF). Data yang digunakan untuk melakukan analisa adalah data suhu dan radiasi matahari selama 5 tahun terakhir yaitu dari tahun 2015-2020 dari data BMKG Kota Semarang. Data tersebut digunakan untuk memprediksikan suhu, radiasi dan energi matahari selama 5 tahun mendatang yaitu tahun 2021-2025. Sistem prediksi ANN-RBF melalui 3 proses yaitu proses training atau pembelajaran, proses pengujian dan proses prediksi. Proses pembelajaran dilakukan dengan mengubah nilai *epoch* dan *layer* dari ANN.

3.1 Perhitungan Daya dan energi matahari

Langkah menghitung kebutuhan modul SPV yaitu dengan menghitung nilai (1) Daya berdasarkan perubahan temperatur, (2) Daya maksimum, (3) TCF atau *Temperature Corection Factor*, (4) *Luas Array*, (5) *Power Watt Peak (PWp)* dan (6) jumlah modul SPV yang digunakan. Perhitungan daya berdasarkan pada perubahan temperatur ($P\Delta t$) pada siang hari dipengaruhi perubahan temperatur (Δt) yang didapatkan dari nilai temperatur maksimum (T_x) dikurangi nilai temperatur minimum (T_n) pada data tahun 2020. Hasil perhitungan nilai daya berdasarkan perubahan nilai temperatur ditunjukkan pada Tabel 2. Rata-rata nilai daya berdasarkan perubahan temperatur selama tahun 2020 adalah 5,17 Wp.

$$P\Delta t = C_t \times \Delta t \times P_{nom} \quad (1)$$

Nilai daya keluaran maksimum pada modul PV ditentukan oleh daya nominal PV dan daya berdasarkan perubahan temperature seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Daya rata-rata maksimum selama Tahun 2020 adalah 234,83 Wp.

$$P_{max\ t} = P_{nom} - P\Delta t \quad (2)$$

Selanjutnya menghitung *Temperature Correction Factor (TCF)* yaitu dengan membagi daya maksimum dibandingkan daya nominal.

$$TCF = \frac{P_{max\ t}}{P_{nom}} \quad (3)$$

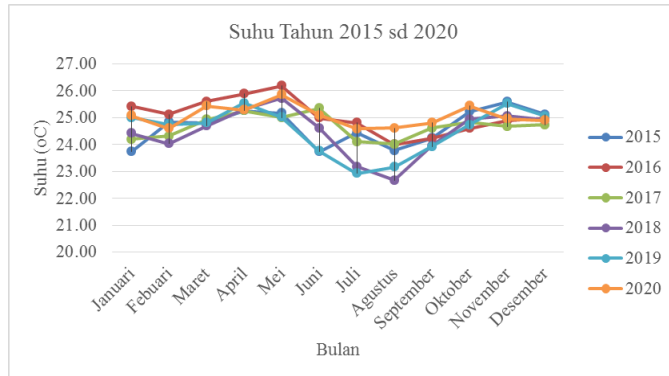
Hasil TFC ditunjukkan pada Tabel 2. dengan rata-rata TCF selama Tahun 2020 adalah 0.98

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai Daya Berdasarkan Perubahan Nilai Temperatur Tahun 2020

Bulan/2020	T _n	T _x	Δ	C' _t	P _{nom}	P Δ t	P _{max}	TCF
Januari	25,08	31,24	6,16	0,29	240	4,28	235,72	0,98
Februari	24,60	30,88	6,28	0,29	240	4,37	235,63	0,98
Maret	25,44	31,70	6,26	0,29	240	4,36	235,64	0,98
April	25,29	32,51	7,22	0,29	240	5,03	234,97	0,98
Mei	25,85	33,09	7,24	0,29	240	5,04	234,96	0,98
Juni	25,10	32,88	7,78	0,29	240	5,41	234,59	0,98
Juli	24,59	33,07	8,48	0,29	240	5,90	234,10	0,98
Agustus	24,61	33,78	9,17	0,29	240	6,38	233,62	0,98
September	24,81	34,36	9,55	0,29	240	6,65	233,35	0,98
Oktober	25,43	33,12	7,68	0,29	240	5,35	234,65	0,98
November	24,95	32,53	7,57	0,29	240	5,27	234,73	0,98
Desember	24,90	30,72	5,82	0,29	240	4,05	235,95	0,98
Rata-rata	25,05	32,49	7,43	0,29	240	5,17	234,83	0,98

Energi listrik rata-rata yang dihasilkan oleh sistem SPV pada daya output maksimal SPV 229,67 Watt adalah sebesar 1543,29 Wh. Daya output (P_{out}) tersebut adalah daya yang dikeluarkan oleh SPV dengan spesifikasi PV.

3.2 Data Suhu Tahun 2015 sd 2020



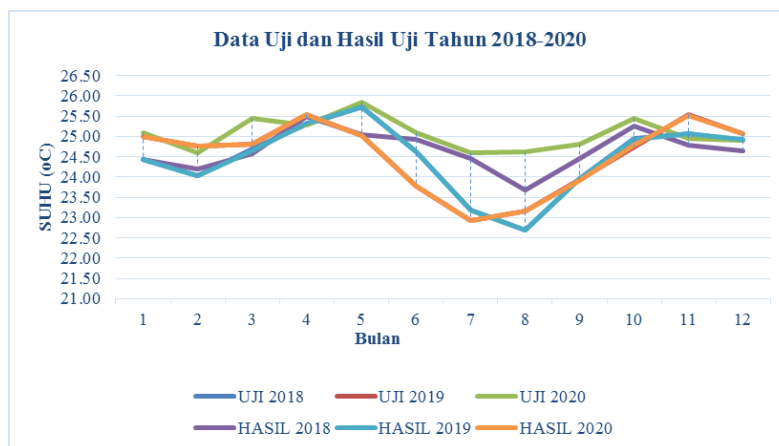
Gambar 3. Grafik Perubahan suhu Tahun 2015 sampai dengan 2020

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan bahwa suhu rata-rata berkisar pada suhu 24 -25°C. Suhu ini tentunya merupakan suhu yang ideal untuk menghasilkan energi solar photovoltaic yang maksimal. *Standart Temperature Control* (STC) yang ideal untuk menghasilkan daya atau energi solar *photovoltaic* yang maksimum adalah 25°C. Data rata-rata suhu dari tahun 2015 sampai dengan 2020 ini akan digunakan untuk melakukan pelatihan dan pengujian menggunakan RBF-NN.

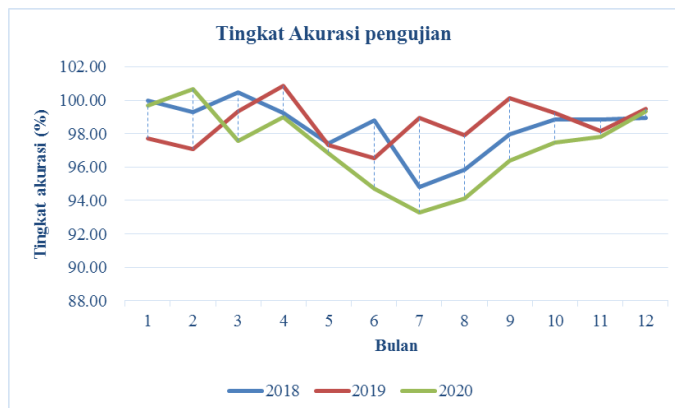
3.3 Proses pembelajaran dan pengujian data suhu menggunakan RBF-NN

Proses pembelajaran data suhu tahun 2015–2020 menggunakan RBF-NN digunakan untuk menguji apakah metode NN yang akan dipakai untuk memprediksikan suhu 5 tahun berikutnya memiliki akurasi yang tinggi. Berdasarkan pembelajaran yang telah dilakukan berulang-ulang didapatkan pola pembelajaran dengan parameter NN antara lain *error goal* atau *Performance goal* (MSE) sebesar $1e-5$, *spread constant* 1.2, *number of neurons* sebesar $K=20$, $K_i=40$ dengan *net = newrb* (data latih, target latih, *error goal*, *spread*, K , K_i) dan *net.trainFcn = 'traingdx'*.

Data yang digunakan untuk pengujian adalah data suhu tahun 2018-2020. Hasil pengujian dari proses pembelajaran ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Antara Data Uji Dan Hasil Uji Tahun 2018-2020



Gambar 5. Grafik Tingkat Akurasi Pengujian Suhu 2018-2020

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa pola pembelajaran RBF-NN untuk data suhu didapatkan tingkat akurasi rata-rata pada tahun 2018 sebesar 98.37%, tahun 2019 sebesar 98.56% dan tahun 2020 sebesar 97.23%, dengan prosentase *error* rata-rata tahun 2018 sebesar 1.6 %, tahun 2019 sebesar 1.4 % dan tahun 2020 sebesar 2.7 %. Tingkat akurasi cukup tinggi, sehingga pola pembelajaran ini dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan suhu yang terjadi selama 5 tahun ke depan.

3.4 Hasil prediksi data suhu 5 tahun kedepan (2021-2025) menggunakan RBF-NN

Hasil prediksi data suhu selama 5 tahun kedepan yaitu tahun 2021-2025 didapatkan berdasarkan proses pembelajaran dan pengujian dari pola RBF-NN.

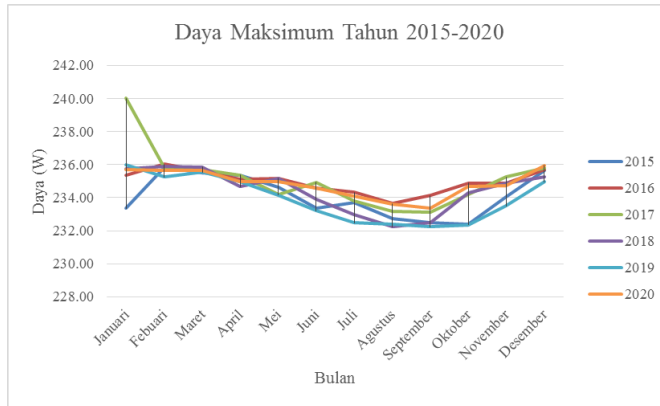
Tabel 3. Data Suhu Hasil Prediksi Tahun 2021-2025
PREDIKSI DATA SUHU

Tahun	°C											
Bulan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2021	24,79	24,83	25,09	25,47	25,00	24,02	23,93	23,51	24,73	25,15	25,46	24,78
2022	24,15	24,79	24,77	25,76	25,31	24,65	24,00	24,19	24,43	25,21	25,18	24,77
2023	24,71	24,07	25,63	25,22	25,18	24,27	23,32	24,25	24,62	25,30	25,23	24,41
2024	24,51	24,54	24,78	25,92	25,06	24,20	24,11	23,05	25,14	25,18	24,90	24,97
2025	23,31	25,37	25,15	25,26	25,28	23,48	23,87	24,25	23,82	25,67	24,75	24,23
Rata-rata	24,29	24,72	25,08	25,53	25,17	24,13	23,84	23,85	24,55	25,30	25,10	24,63

Tabel 3. menunjukkan bahwa rata-rata suhu selama 5 tahun kedepan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2025 sebesar 23 sampai 25 derajat Celsius. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata suhu mendekati kondisi standart operasi panel surya atau kondisi STC yaitu 25°C. Rata-rata suhu tersebut tidak berdampak secara signifikan terhadap penurunan daya yang dihasilkan oleh panel surya (SPV).

3.5 Data Daya (P) Tahun 2015 sd 2020

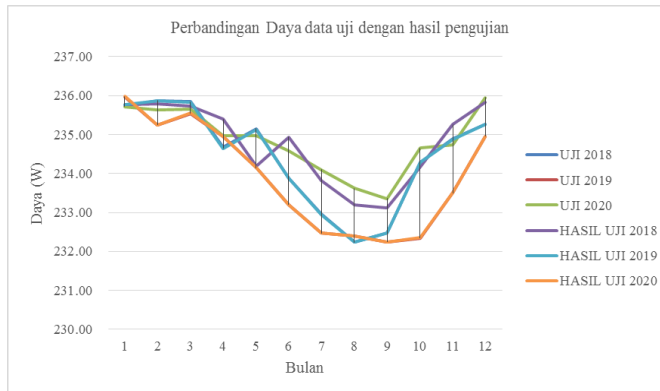
Data Daya maksimum (*Pmax*) *Solar photovoltaic* (SPV) dari tahun 2015 sd 2020 ditunjukkan pada Gambar 6. Daya didapatkan dari daya maksimum yang dihasilkan oleh SPV dikurangi dengan rugi-rugi daya yang disebabkan karena pengaruh temperatur. Daya maksimum yang dihasilkan karena pengaruh suhu selama tahun 2015 sd tahun 2020 adalah 233 sampai dengan 235 Watt dari daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel SPV yaitu 240 Watt.



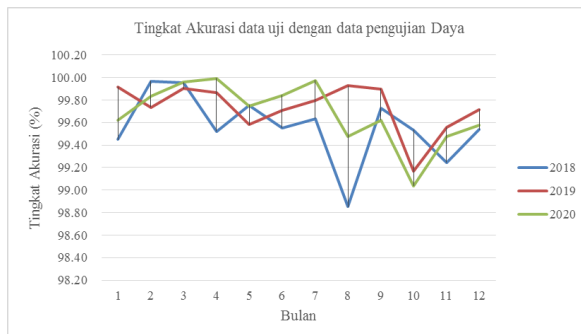
Gambar 6. Grafik Daya Tahun 2015-2020

3.6 Proses pembelajaran dan pengujian data Daya menggunakan RBF-NN

Proses pembelajaran data daya maksimal tahun 2015 – 2020 menggunakan RBF-NN digunakan untuk menguji apakah metode NN yang akan dipakai untuk memprediksikan daya 5 tahun berikutnya memiliki akurasi yang tinggi. Berdasarkan pembelajaran yang telah dilakukan berulang-ulang didapatkan pola pembelajaran dengan parameter NN antara lain *error goal* atau *Performance goal* (MSE) sebesar $1e-5$, *spread constant* 4, *number of neurons* sebesar $K=80$ dan $K_i=100$ dengan *script net* = *newrb* (data latih, target latih, *error goal*, *spread*, K, K_i) dan *net.trainFcn* = '*traingdx*'. Data yang digunakan untuk pengujian adalah data daya maksimum tahun 2018-2020.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Daya Data Uji Dengan Hasil Pengujian



Gambar 8. Grafik Prosentase Tingkat Akurasi Daya

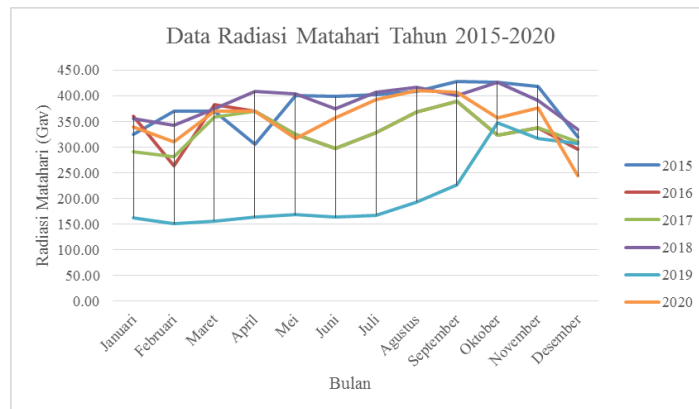
Pola pembelajaran RBF-NN untuk data daya didapatkan tingkat akurasi rata-rata pada tahun 2018 sebesar 99.56%, tahun 2019 sebesar 99.73% dan tahun 2020 sebesar 99.68%, dengan prosentase *error* rata-rata tahun 2018 sebesar 0.43 %, tahun 2019 sebesar 0.26 % dan tahun 2020 sebesar 0.31 %. Tingkat akurasi cukup tinggi dan error kurang dari 1%, sehingga pola pembelajaran ini dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan Daya yang terjadi selama 5 tahun ke depan.

3.7 Hasil prediksi data Daya 5 tahun kedepan (2021-2025) menggunakan RBF-NN

Hasil prediksi data daya selama 5 tahun kedepan yaitu tahun 2021-2025 didapatkan berdasarkan proses pembelajaran dan pengujian dari pola RBF-NN yang telah dilakukan. Rata-rata daya selama 5 tahun kedepan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2025 sebesar 232 sampai 235 Watt dari Daya maksimal yang dapat dikeluarkan oleh panel SPV yaitu 240 W, sehingga ada rugi-rugi daya yang dihasilkan sekitar 5 watt. Hal ini disebabkan karena temperatur yang selalu berubah.

3.8 Data Radiasi Matahari (Gav) Tahun 2015 sd 2020

Radiasi matahari ini digunakan untuk menentukan besarnya energi listrik yang akan dihasilkan.

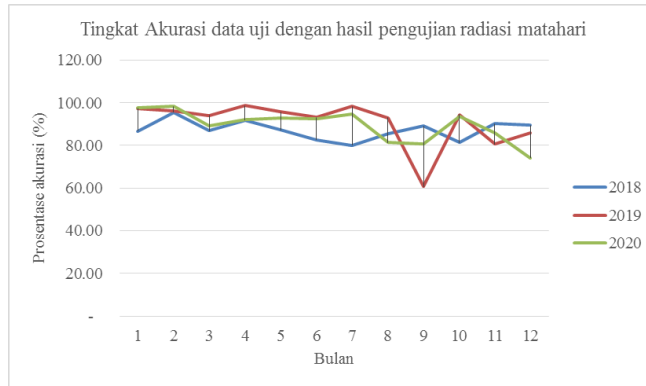


Gambar 9. Grafik Radiasi Matahari 2015-2020

Rata-rata radiasi matahari dari tahun 2015 sampai dengan 2020 berkisar antara 210 Wh/m²–386 Wh/m². Radiasi matahari ini sangat berpotensi untuk menghasilkan energi listrik.

3.9 Proses pembelajaran dan pengujian data Radiasi Matahari (Gav) menggunakan RBF-NN

Proses pembelajaran data radiasi matahari (Gav) tahun 2015 – 2020 menggunakan RBF-NN digunakan untuk menguji apakah metode NN yang akan dipakai untuk memprediksikan radiasi matahari 5 tahun berikutnya memiliki akurasi yang tinggi. Berdasarkan pembelajaran yang telah dilakukan berulang-ulang didapatkan pola pembelajaran dengan parameter NN antara lain *error goal* atau *Performance goal* (MSE) sebesar 1e-5, *spread constant* 2, *number of neurons* sebesar K=20 dan Ki=80 dengan *script net = newrb* (data latih, target latih, *error goal*, *spread*, K, Ki) dan *net.trainFcn = 'traingdx'*. Data yang digunakan untuk pengujian adalah data radiasi matahari tahun 2018-2020.



Gambar 10. Grafik Tingkat Akurasi Data Radiasi Matahari

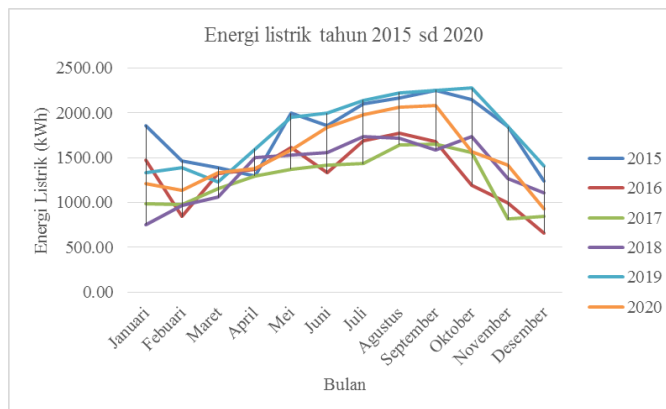
Pola pembelajaran RBF-NN untuk data radiasi matahari didapatkan tingkat akurasi rata-rata pada tahun 2018 sebesar 87.24%, tahun 2019 sebesar 90.70% dan tahun 2020 sebesar 89.40%, dengan prosentase error rata-rata tahun 2018 sebesar 12.76 %, tahun 2019 sebesar 9.3 % dan tahun 2020 sebesar 10.5 %. Tingkat akurasi masih rendah dan error lebih dari 10%, hal ini dikarenakan perubahan radiasi yang cukup signifikan pada tahun 2019 sehingga kenaikan atau penurunan nilai radiasi matahari tidak linier. Pola pembelajaran ini masih dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan energi listrik dari panel SPV yang terjadi selama 5 tahun ke depan

3.10 Hasil prediksi data Radiasi Matahari (Gav) 5 tahun kedepan (2021-2025) menggunakan RBF-NN

Hasil prediksi data radiasi matahari selama 5 tahun kedepan yaitu tahun 2021-2025 didapatkan berdasarkan proses pembelajaran dan pengujian dari pola RBF-NN yang telah dilakukan. Rata-rata Radiasi matahari selama 5 tahun kedepan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2025 sebesar 298 sampai 378 Wh/m².

3.11 Data Energi Listrik (Eout) Tahun 2015-2020

Energi listrik per tahun ini didapatkan berdasarkan pengaruh temperatur dan radiasi matahari serta lama penyinaran matahari .



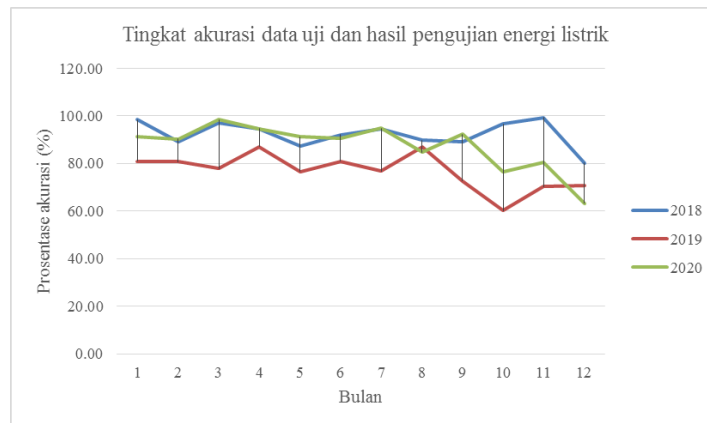
Gambar 11. Jumlah Energi Listrik Tahun 2015 Sd 2020

Jumlah energi listrik dari tahun 2015 sampai dengan 2020 berkisar antara 1.261 Wh Wh/m²– 1.803 Wh. Energi listrik tersebut dihasilkan dari panel surya dengan kapasitas 240 WP serta sesuai

dengan temperature, radiasi matahari dan lama penyinaran matahari selama tahun 2015 sampai dengan 2020.

3.12 Proses pembelajaran dan pengujian data Energi Listrik (Eout) menggunakan RBF-NN

Berdasarkan pembelajaran yang telah dilakukan berulang-ulang didapatkan pola pembelajaran dengan parameter NN antara lain *error goal* atau *Performance goal* (MSE) sebesar $1e-5$, *spread constant* 2, *number of neurons* sebesar $K=20$ dan $K_i=100$ dengan *script net = newrb* (data latih, target latih, *error goal*, *spread*, K , K_i) dan *net.trainFcn = 'traingdx'*. Data yang digunakan untuk pengujian adalah data daya maksimum tahun 2018-2020.



Gambar 12. Tingkat Akurasi Data Uji Dan Hasil Pengujian Energi Listrik Tahun 2018 Sd 2020

Pola pembelajaran RBF-NN untuk data energi listrik didapatkan tingkat akurasi rata-rata pada tahun 2018 sebesar 92.35%, tahun 2019 sebesar 76.83 % dan tahun 2020 sebesar 87.36%, dengan prosentase error rata-rata tahun 2018 sebesar 7.6 %, tahun 2019 sebesar 23.16 % dan tahun 2020 sebesar 12.63 %. Tingkat akurasi masih rendah dan error lebih dari 10%, hal ini dikarenakan perubahan radiasi yang cukup signifikan pada tahun 2019 sehingga kenaikan atau penurunan nilai radiasi matahari dan temperature yang tidak linier. Pola pembelajaran ini masih dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan energi listrik dari panel SPV yang terjadi selama 5 tahun ke depan

3.13 Hasil prediksi data Energi Listrik (Eout) 5 tahun kedepan (2021-2025) menggunakan RBF-NN

Hasil prediksi energi listrik selama 5 tahun kedepan yaitu tahun 2021-2025 didapatkan berdasarkan proses pembelajaran dan pengujian dari pola RBF-NN yang telah dilakukan. Rata-rata prediksi energi listrik selama 5 tahun kedepan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2025 berkisar antara 936 Wh sampai 1894 Wh dari panel SPV dengan ukuran 240 Wp.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan antara lain:

- 1) Parameter yang digunakan untuk memprediksi energi listrik yang dihasilkan oleh panel SPV adalah data suhu dan radiasi matahari dari BMKG Kota Semarang
- 2) Model pola pembelajaran dan prediksi NN-RBF untuk menentukan energi listrik yang dihasilkan selama 5 tahun kedepan 2021 sd 2025 adalah:

- a. Parameter NN-RBF yang digunakan untuk Pola pembelajaran data suhu antara lain error_goal atau Performance goal (MSE) sebesar $1e-5$, spread constant 1.2, number of neurons sebesar $K=20$, $K_i=40$
 - b. Parameter NN-RBF yang digunakan untuk Pola pembelajaran data Daya antara lain error_goal atau Performance goal (MSE) sebesar $1e-5$, spread constant 4, number of neurons sebesar $K=80$ dan $K_i=100$
 - c. Parameter NN-RBF yang digunakan untuk Pola pembelajaran data Radiasi Matahari antara lain error_goal atau Performance goal (MSE) sebesar $1e-5$, spread constant 2, number of neurons sebesar $K=20$ dan $K_i=80$
 - d. Parameter NN-RBF yang digunakan untuk Pola pembelajaran data Energi Listrik antara lain error_goal atau Performance goal (MSE) sebesar $1e-5$, spread constant 2, number of neurons sebesar $K=20$ dan $K_i=100$
- 3) Tingkat akurasi rata-rata proses pembelajaran dan pengujian data untuk menentukan pola prediksi energi listrik panel SPV adalah pada tahun 2018 sebesar 92.35%, tahun 2019 sebesar 76.83 % dan tahun 2020 sebesar 87.36%, sehingga prosentase error rata-rata tahun 2018 sebesar 7.6 %, tahun 2019 sebesar 23.16 % dan tahun 2020 sebesar 12.63 %. Tingkat akurasi menggunakan NN-RBF masih rendah dan error lebih dari 10%, hal ini dikarenakan NN-RBF masih memiliki osilasi pencapaian target yang selalu berubah-ubah dengan cepat
- 4) Prediksi rata-rata energi listrik selama 5 tahun kedepan dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2025 berkisar antara 936 Wh sampai 1894 Wh dari panel SPV dengan ukuran 240 Wp.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cynthia, E. P., Yanti, N., Fitriani, Y., & Yusra, Y. (2019, November). PREDIKSI RADIASI MATAHARI DENGAN PENERAPAN METODE ELMAN RECURRENT NEURAL NETWORK. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri* (pp. 22-29).
- [2] Dolara, A., Leva, S., Mussetta, M., & Ogliari, E. (2016, June). PV hourly day-ahead power forecasting in a micro grid context. In *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)* (pp. 1-5). IEEE.
- [3] Elamim, A., Hartiti, B., Haibaoui, A., Lfakir, A., & Thevenin, P. (2019, July). Generation of Photovoltaic Output Power Forecast Using Artificial Neural Networks. In *International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development* (pp. 127-134). Springer, Cham.
- [4] Hu, K., Cao, S., Wang, L., Li, W., & Lv, M. (2018). A new ultra-short-term photovoltaic power prediction model based on ground-based cloud images. *Journal of Cleaner Production*, 200, 731-745.
- [5] Loutfi, H., Bernatchou, A., Raoui, Y., & Tadili, R. (2017). Learning processes to predict the hourly global, direct, and diffuse solar irradiance from daily global radiation with artificial neural networks. *International Journal of Photoenergy*, 2017.
- [6] Mohapatra, A., Nayak, B., & Mohanty, K. B. (2016, March). Performance improvement in MPPT of SPV system using NN controller under fast changing environmental condition. In *2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS)* (pp. 1-5). IEEE.
- [7] Torabi, R., Rodrigues, S., Cafofo, N., & Morgado-Dias, F. (2017, July). Development of an ANN model to predict the electricity produced by small scale roof-top PV systems in Madeira Island. In *2017 International Conference in Energy and Sustainability in Small Developing Economies (ES2DE)* (pp. 1-6). IEEE.
- [8] Xiao, W., Dai, J., Wu, H., Nazario, G., & Cheng, F. (2017). Effect of meteorological factors on photovoltaic power forecast based on the neural network. *RSC advances*, 7(88), 55846-55850.

- [9] Yulianto, B. 2011. Solar Sel Sumber Energi Terbarukan Masa Depan, www.esdm.go.id/berita/artikel/, diakses pada 18 Januari 2019
- [10] <http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL%20PLN%202016-2025.pdf>