

**PERAMALAN RADIASI GLOBAL MATAHARI JANGKA PENDEK MENGGUNAKAN
MODELTRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING-FEED FORWARD NEURAL NETWORK**

Rani Fajriyah Islamiyati Asfah

S1-Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya e-

mail: raniasfah16050874032@mhs.unesa.ac.id

Unit Three Kartini

S1-Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: unitthree@unesa.ac.id

Abstrak

Energi matahari merupakan salah satu dari sumber tenaga listrik yang tidak terbatas dan tersedia dalam jumlah besar. Matahari menghasilkan energi berupa radiasi yang mempunyai rentang panjang gelombang yang sangat besar (Tjasyono, 2004). Energi matahari memiliki pancaran radiasi matahari yang dapat digunakan sebagai energi alternatif. Pengaplikasiannya dapat berbentuk *Photovoltaic*. Penelitian ini membahas intensitas radiasi matahari di wilayah Unesa tepatnya pada daerah Fakultas Teknik. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui potensi energi matahari yang tersedia untuk digunakan dalam pemasangan *Photovoltaic*. *Model* untuk peramalan radiasi global matahari pada penelitian ini menggabungkan dari beberapa *model*. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Soumyabrata Dev., dkk (2018) hanya menggunakan satu model yaitu *model Triple Exponential Smoothing* (TES) tetapi kebaruan pada penelitian ini ialah peramalan radiasi global matahari menggunakan dua *model Triple Exponential Smoothing* dan *Feed Forward Neural Network* serta menggunakan data meteorologi. Hasil penelitian peramalan radiasi global matahari jangka pendek dengan *modelTriple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network* (TES-FFNN) menunjukkan bahwa tingkat keakuratan dari peramalan radiasi menggunakan *modelMean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 0,2012% pada *model* TES-FFNN dan 0,2703% pada *model* TES. Dapat disimpulkan bahwa nilai peramalan radiasi global matahari dengan *model* TES-FFNN lebih baik daripada penelitian menggunakan *model Triple Exponential Smoothing* (TES) dalam meramalkan radiasi global matahari selama 1 hari.

Kata Kunci : Peramalan radiasi, *Triple Exponential Smoothing*, *Feed Forward Neural Network*, *Mean SquaredError*, *Mean Absolute Percent Error*

Abstract

Solar energy is one of the unlimited sources of electricity and is available in large quantities. The sun produces energy in the form of radiation which has a very large wavelength range (Tjasyono, 2004). Solar energy has radiant solar radiation that can be used as alternative energy. Its application can take the form of photovoltaics. This study discusses the intensity of solar radiation in the Unesa region precisely in the area of the Faculty of Engineering. This research is expected to find out the potential of solar energy available for use in photovoltaic installations. The models for forecasting global solar radiation in this study combine from several models. In a previous study conducted by Soumyabrata Dev., Et al (2018) only used one model, the Triple Exponential Smoothing (TES) model, but the novelty in this study was the forecasting of global solar radiation using two Triple Exponential Smoothing and Feed Forward Neural Network models and meteorological data. The results of research on global short-term solar radiation forecasting with the Triple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network (TES-FFNN) model show that the accuracy level of radiation forecasting uses the *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) model of 0.2012% on the TES-FFNN model and 0.2703% on the TES model. It can be concluded that the forecast value of global solar radiation with the TES-FFNN model is better than research using the Triple Exponential Smoothing (TES) model in predicting global sun radiation for 1 day.

Keywords: Forecasting Radiation, *Triple Exponential Smoothing*, *Feed Forward Neural Network*, *Mean SquaredError*, *Mean Absolute Percent Error*

PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan satu dari sumber tenaga listrik yang yang tidak terbatas dan tersedia dalam jumlah besar. Energi matahari memiliki pancaran radiasi matahari yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

Pada pengaplikasiannya dapat ditemukan pada *Photovoltaic*. Pada *photovoltaic,input* berupa radiasi matahari yang selanjutnya menghasilkan energi listrik.

Pada studi terdahulu tentang peramalan radiasi yang dilakukan Adiwana (2019), yang mendesain *photovoltaic*

dengan menambahkan reflector disisi *photovoltaic* dan peramalan radiasi matahari (Watt/m^2) jangka pendek dengan menggunakan *model Feed-Forward Neural Network (FFNN)*. Hasil dari penelitian adalah *photovoltaic* 40 x 60 cm dengan reflektor yang menghasilkan tegangan maximal 25 volt dan arus 0,8 A, serta menghasilkan peramalan untuk satu minggu. Nilai akurasi peramalan berupa *mean squared error* sebesar 0,2 dan nilai radiasi tertinggi sebesar 1244,1 Watt/m^2 .

Selanjutnya penelitian mengenai peramalan radiasi matahari menggunakan data cuaca selama satu tahun dengan *model Triple Exponential Smoothing*. Penelitian ini diteliti oleh Soumyabrata Dev., dkk (2018), tentang peramalan radiasi matahari, kemudian nilai eror yang dihasilkan oleh peramalan ini jika dibandingkan dengan peramalan *average* dan peramalan *persistence* adalah nilai yang paling baik. Kemudian, Ardianto (2019), yang membahas mengenai peramalan radiasi jangka sangat pendek menggunakan pendekatan berupa *model k-Nearest Neighbour - Feed Forward Neural Network*. Hasil dari penelitian ini ialah peramalan beban pembangkit memiliki hasil akhir dari MAD (*mean absolute deviation*) dan MAPE (*mean absolute percentage error*) lebih baik daripada hasil akhir pada peramalan yang hanya memakai *model k-Nearest Neighbour*.

Selanjutnya pada penelitian Watetakarn., dkk (2015), yang peramalan radiasi matahari di pembangkit listrik tenaga surya Mae Sariang, Provinsi Mae Hongson, Thailand. Dengan menerapkan jaringan syaraf tiruan (*backpropagation*) peramalan. Pada penelitian ini *Output* yang dihasilkan ialah peramalan radiasi selama satu hari kedepan yangmana memiliki eror kurang dari 6%. Penelitian lainnya dilakukan oleh Margaret., dkk (2016). Penelitian ini membahas mengenai peramalan radiasi menggunakan *model exponential smoothing* dalam periode waktu yang singkat. *Output* penelitian ini ialah peramalan radiasi matahari, dengan menggunakan *model Triple Exponential Smoothing* yang mengusulkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *model* eksponensial lainnya.

Rumusan masalah dari penelitian ini ialah bagaimana meramalkan radiasi global matahari jangka pendek dengan menggunakan *model triple exponential smoothing-Feed Forward Neural Network* untuk 1 hari kedepan?

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui tingkat (nilai) peramalan radiasi global matahari jangka pendek menggunakan *model triple exponential smoothing-k Nearest Neighbor-Feed Forward Neural Network* untuk 1 hari kedepan.

Penelitian pada penelitian ini, akan membahas mengenai intensitas dari radiasi matahari di wilayah Fakultas Teknik Unesa. Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam penyediaan data potensi pemasangan *Photovoltaic*. *Model* yang digunakan untuk peramalan radiasi global matahari pada penelitian ini menggunakan *model* yang digabungkan dari dua *model*. *Model* yang diusulkan untuk penelitian ini ialah *model Triple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network*. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya hanya

menggunakan satu *model* tetapi pada penelitian ini, peramalan radiasi global matahari menggunakan dua *model Triple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network* berdasarkan data meteorologi. data meteorologi tersebut ialah temperatur, kelembapan, kecepatan angin, radiasi matahari.

TINJAUAN PUSTAKA

Radiasi Global Matahari

Matahari ialah salah satu sumber kehidupan bagi seluruh makhluk yang ada di bumi. Matahari menghasilkan energi berupa radiasi yang mempunyai rentang panjang gelombang yang sangat besar. Klasifikasi dari pita gelombang yang telah disepakati oleh ilmuwan dunia dijabarkan sebagai berikut: pita gelombang *ultraviolet*, infra merah, dan cahaya tampak. Cahaya tampak ($\lambda = 340 - 7600 \text{ nm}$) memiliki beragam warna mulai dari warna merah hingga pita warna ungu. Adanya gradasi pita warna dari warna merah menuju ke ungu ini disebabkan perbedaan pada panjang gelombang. Tiga pita gelombang yang terdapat pada radiasi matahari tersebut disebut dengan radiasi global matahari, yang berupa radiasi langsung yang terkena pada permukaan bumi (*direct*) ataupun radiasi matahari yang mengalami perubahan diakibatkan oleh tersebarannya partikel pada atmosfer (*diffuse*). Radiasi dari sinar matahari ketika sampai pada permukaan bumi persatuan luas dan waktu disebut dengan insolasi (berasal dari *insolation = incoming solar radiation*), dikenal dengan sebutan radiasi global. Radiasi global ialah radiasi langsung dari matahari dan radiasi tidak langsung (dari langit) dikarenakan adanya tebaran pada partikel atmosfer (Tjasyono, 2004).

Macam-macam dari radiasi matahari ini dibedakan dengan mengetahui bagaimana radiasi matahari tersebut dapat sampai pada permukaan bumi, ialah : (1) Radiasi matahari langsung (*Beam/Direct Radiation*) ialah radiasi matahari yang terpancar dari matahari dan tidak mengalami perubahanarah menuju ke permukaan bumi atau radiasi yang diterima secara langsung oleh bumi. (2) Radiasi matahari hambur (*Diffuse Radiation*) ialah radiasi yang pada pemancarannya terjadi pemantulan ataupun penghamburan ketika menuju ke permukaan bumi sehingga terjadi perubahan. (3) Sedangkan radiasi matahari total (*Global Radiation*) adalah penggabungan nilai yang dimiliki dari radiasi hambur (*diffuse radiation*) dan radiasi langsung (*direct radiation*).

Radiasi dari sinar matahari yang terkena di permukaan bumi dapat dikategorikan menjadi dua ialah radiasi yang baur dan radiasi yang langsung. Radiasi matahari langsung dapat mengakibatkan munculnya bayangan benda yang kuat. Berbanding-terbalik dengan radiasi baur yang pada pancarannya telah terjadi penghamburan di atas awan sehingga tidak mempunyai arah pancaran yang jelas, arah tersebut juga dipengaruhi oleh keadaan awan pada hari tersebut (ketinggian matahari). Gelombang elektromagnetik merupakan bentuk dari pancaran radiasi matahari pada setiap sudut di angkasa, gelombang elektromagnetik ini juga energy dengan kecepatan cahaya. Menyerap,

memantulkan dan menghamburkan akan terjadi pada radiasi matahari ketika memancarkan radiasi ke semua daerah dari penjalaran yang memasuki atmosfer bumi. Hal itu dapat terjadi disebabkan adanya beberapa faktor contohnya cuaca dan iklim. Kemudian radiasi matahari yang telah mencapai permukaan bumi akan memiliki perbedaan dikarenakan oleh geometri bumi, jarak dengan matahari, kondisi geografis, perbedaan lintang dan bujur, serta keadaan atmosfer (Sabrian, 2013:2).

Suhu

Suhu merupakan karakteristik dari suatu benda yang memiliki hubungan dengan panas dan energi (Lakitan, 2002). Suhu udara juga dapat diartikan sebagai kondisi dari sebuah benda dengan atau adanya luasan yang terjadi suatu saat dan waktu. Faktor yang paling mempengaruhi munculnya suhu udara adalah sinar dari matahari pada benda/bidang atau luasan tertentu. Derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) merupakan bentuk dari satuan suhu udara permukaan. Dalam mengukur nilai dari suhu permukaan digunakan alat yang disebut Thermometer (Bolilera., dkk, 2019:12).

Kelembapan Udara

Kelembapan nisbi atau kelembapan relative dapat mengalami perubahan berdasarkan dengan tempat dan waktu, kemudian juga dapat terpengaruh oleh ketinggian dari suatu daerah, kepadatan udara, tekanan udara dan radiasi matahari. Pada keadaan normal (cuaca), kelembapan nisbi yang terjadi menuju siang hari akan turun secara perlahan kemudian ketika sore sampai menjelang pagi akan mengalami kenaikan (Bolilera dkk, 2019:16).

Angin

Angin ialah udara yang bergerak secara sejajar dengan permukaan bumi. Udara mengalami perpindahan dari daerah yang memiliki tekanan udara yang lebih tinggi menuju daerah yang bertekanan udara yang lebih rendah. Angin memiliki nama yang didasari dari arah mana angin berasal (Tjasyono, 2004). Besaran dari kecepatan angin dapat dinyatakan dalam Knot (KT), 1 Knot = 1,85 km/jam. Alat ukur yang digunakan dalam mengukur kecepatan angin disebut Anemometer (Bolilera dkk, 2019:14).

Peramalan

Peramalan atau *forecasting* dapat memiliki arti yaitu pemakaian metode statistik dalam pandangan periode yang akan datang didasarkan dari pengerjaan nilai periode sebelumnya (Ellwood & Sarin, 1996).

Peramalan dapat dilakukan secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Penggunaan cara kuantitatif dengan *model* statistik, sedangkan *model* kualitatif didasarkan pendapat

dari orang yang melakukan peramalan. Peramalan dapat dikategorikan menjadi dua tipe yaitu prakiraan dan prediksi. Prakiraan ialah proses peramalan suatu variable (kejadian) dimasa mendatang dengan menggunakan data yang didapat dari masa sebelumnya (historis). Sedangkan prediksi ialah proses peramalan suatu variabel (kejadian) di masa yang akan datang menggunakan pertimbangan intuisi dari yang meramalkan. Meskipun intuisi prediksi sering menggunakan data kuantitatif dalam peramalan sebagai pelengkap dari informasi. Dalam prediksi sendiri peramalan yang baik juga tergantung pada kemampuan, pengalaman dan kepekaan dari yang meramalkan. Peramalan dapat juga dikategorikan menjadi 4 macam berdasarkan dengan jangka waktu masa yang akan datang tugas peramalan (Setiawan dkk, 2009:2888), yaitu: (a) Jangka Panjang (*Long Term*), umumnya digunakan untuk melakukan peramalan dari satu hingga sepuluh tahun kedepan; memiliki fungsi untuk mengidentifikasi hal yang dibutuhkan dalam pembuatan rencana dan investasi generasi yang lebih baik, dikarenakan pada pembangkit listrik besar memerlukan waktu yang cukup lama agar dapat tersedia yang disebabkan oleh ketentuan dalam pekerjaan tersebut yang ketat dan kebutuhan dalam merancang, membiayai dan membangun. (b) Jangka Menengah (*Medium Term*), biasanya untuk peramalan dengan jangka waktu bulan sampai tahun; yang memiliki kegunaan sebagai penjamin keamanan lalu keterbatasan kapasitas dapat dipenuhi dalam jangka waktu menengah. (c) Jangka pendek (*Short Term*), peramalan untuk sehari kedepan, yang berguna dalam memberikan bantuan perencanaan dan pelaku pasar. (d) Jangka Sangat Pendek (*Very Short Term*), digunakan dalam peramalan untuk jam dan menit kedepan, yang berguna untuk membantu pemasaran dan penetapan pengiriman.

Menurut Render & Heizer (2005) terdapat 7 tahap peramalan, ialah : (a) melakukan penentuan terhadap tuntutan dalam peramalan, (b) memilih *variable* yang dibutuhkan dalam peramalan, (c) menetapkan jangka waktu untuk peramalan (pendek, menengah, atau panjang), (d) menentukan *model* peramalan, (e) mengumpulkan data yang akan digunakan dalam melakukan *forecasting*, (f) mengesahkan dan melakukan penerapan hasil dari peramalan.

Pengukuran akurasi hasil peramalan pada penelitian ini memakai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yaitu nilai rata-rata *error* absolut dari hasil peramalan yang dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Rumus MAPE adalah

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - f_t}{x_t} \right|}{n} \times 100\%(1)$$

Keterangan :

N= nilai periode waktu

x_t = nilai *actual* pada periode ke-t

f_t = hasil *forecasting* pada periode ke-t

Semakin kecil hasil MAPE yang diperoleh, maka bisa disimpulkan *model* peramalan tersebut mempunyai kecakapan yang baik (Hutasuhut,dkk., 2014:171). Kategori besaran untuk hasil MAPE bisa dilihat pada Tabel 1,

Tabel 1 Signifikansi nilai MAPE

MAPE	Signifikansi
<10%	Kecakapan <i>forecasting</i> sangat baik
10-20%	Kecakapan <i>forecasting</i> baik
20-50%	Kecakapan <i>forecastin</i> layak / memadai
>50%	Kecakapan <i>forecasting</i> buruk

(Sumber: Chang., dkk, 2007:88)

Model Triple Exponential Smoothing

Menurut (Makridakis,1994), cara peramalan ini dipakai saat data memperlihatkan keberadaan trend dan perilaku musiman. Dalam mengatasi data *seasonal* (musiman), dapat menggunakan parameter persamaan “*Holt-Winter*” dengan menentukan kategori *seasonal* yaitu *multiplicative seasonal model* dan *additive seasonal model*.

Model peramalan *triple exponential smoothing* mempunyai beberapa macam konstanta yang dijadikan parameter yang memiliki perbedaan yaitu *alpha*, *beta*, dan *gamma*. (Makridakis,1994) berpendapat, agar bisa melihat perbedaan kegunaan dari ketiga konstanta sebagai parameter tersebut, persamaan peramalan pemulusan menggunakan *model tripple exponential smoothing* sebagai berikut:

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})(2)$$

$$b_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}(3)$$

$$I_t = \gamma \frac{X_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-L}(4)$$

$$F_{t+m} = (S_t + b_t m)I_{t-L+m}(5)$$

Keterangan:

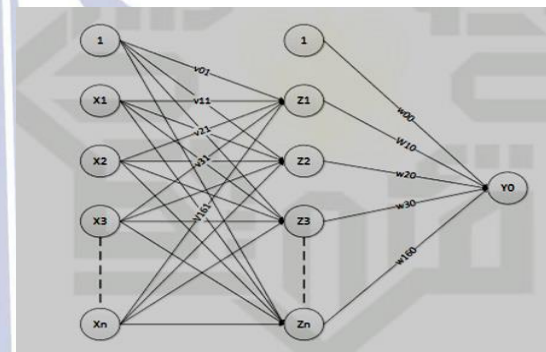
- S_t = Nilai pemulusan data
- L = Musiman(jumlah kuartal dalam periode)
- I = Faktor penyesuaian musiman
- β = Konstanta (*trendconstant*) dengan nilai antara 0 – 1
- α = Konstanta (*smoothing constant*) dengan nilai antara 0 – 1
- γ = Konstanta (*season*) dengan nilai antara 0 – 1
- F_{t-m} = Nilai peramalan periode ke - t

Model FFNN (Feed-Forward Neural Network)

Feed Forward Neural Network (FFNN) merupakan salah satu jenis utama dari *neural network*, dan *model* FFNN adalah *model* yang paling banyak digunakan dalam melakukan prediksi (Meinanda dkk, 2009:32). Diantara berbagai *model neural network*, *feed forward neural network* (FFNN) ialah *model* yang lebih banyak digunakan karena dikenal memiliki kemampuan pendekatan yang baik

dan bersifat *universal* (Handaga &Asy'ari, 2012:1). Pada FFNN, semua *unit* yang ada pada *input layer* memiliki hubungan dengan *unit* yang ada pada jaringan syaraf tiruan FFNN dikategorikan dalam tiga lapisan, yaitu : (1) Lapisan masukan (*input layer*), yang memiliki beberapa *unit input*, dimulai dari *unit* masukan 1 hingga *unit* masukan. (2) Lapisan tersembunyi (*hidden layer*), pada lapisan ini terbagi menjadi beberapa *unit* tersembunyi, berawal dari *unit* tersembunyi 1 hingga *unit* tersembunyi p. (3) Lapisan keluaran (*output layer*), lapisan keluaran terdiri dari beberapa *unit* keluaran, diawali dari *unit* keluaran 1 hingga *unit* keluaran m,n,p (Lestari, 2017:26).

Arsitektur *model* FFNN dengan *unit input* x_1 sampai x_n , satu *hidden layer* yang memiliki *neuron* z_1 sampai z_n dan satu *unit output* digambarkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Arsitektur *Feed Forward Neural Network* (Sumber: Lestari, (2017))

MODEL PENELITIAN

Penelitian ini memakai pendekatan penelitian kuantitatif. Pendekatan tersebut ialah satu diantara usaha pencarian ilmiah (*scientific inquiry*) berdasarkan dengan filsafat positivisme logikal (*logical positivism*) yang bekerja dengan ketentuan yang ketat mengenai logika, kebenaran, hukum-hukum, dan perkiraan (Watson, dalam Danim 2002). Penelitian ini menggunakan software Matlab R2015b untuk meramalkan radiasi global matahari menggunakan *model triple exponential smoothing-k Nearest Neighbor-Feed Forward Neural Network*.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini disusun berdasarkan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada gambar 2 dijelaskan sebagai berikut: yang pertama, studi literatur dilakukan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan segala sesuatu yang dibutuhkan dalam penyusunan proposal penelitian ini, sumber informasi dari penelitian dapat ditemukan pada beberapa jurnal internasional dan buku yang relevan dengan pembahasan penelitian. Informasi yang dikumpulkan dalam penelitian diantaranya yaitu: (a) Peramalan jangka pendek. (b) Mempelajari *model Triple Exponential Smoothing* (TES). (c) Mempelajari *model Feed Forward Neural Network* (FFNN). (d) Mempelajari *model hybrid* (TES- FFNN).

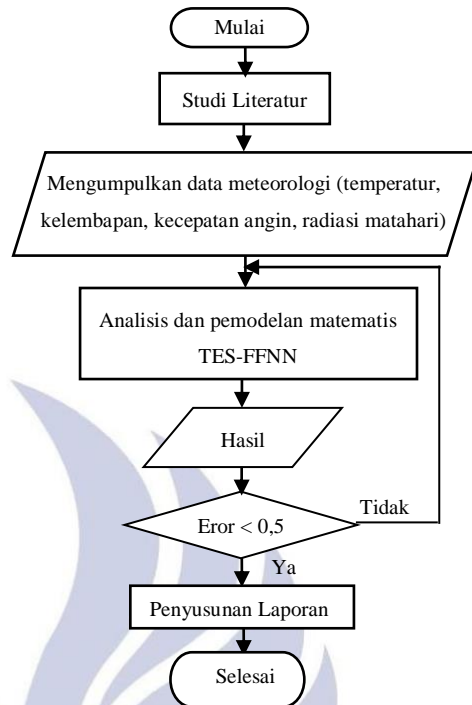


Gambar 2. Pengambilan Data Meteorologi.

Kedua, pengumpulan Data Meteorologi. Proses pengumpulan data menentukan data pendukung. Pengambilan data meteorologi diambil menggunakan beberapa alat ukur (anemometer, solar power meter, hygrometer thermometer digital) yang berfungsi untuk mengukur radiasi matahari, temperatur, kelembapan dan juga kecepatan angin. Ketiga, analisis dan permodelan *model TES-FFNN* untuk peramalan jangka pendek selama satu hari kedepan menggunakan bantuan software matlab yang meramalkan radiasi global matahari. *Input* data meteorologi berupa radiasi global matahari diproses dengan *model TES*, kemudian data keluaran *model TES* diolah beserta dengan data meteorologi lainnya berupa suhu, kelembapan dan kecepatan angin menggunakan *model FFNN*, gabungan dari dua *model* inilah yang disebut *model TES-FFNN*.

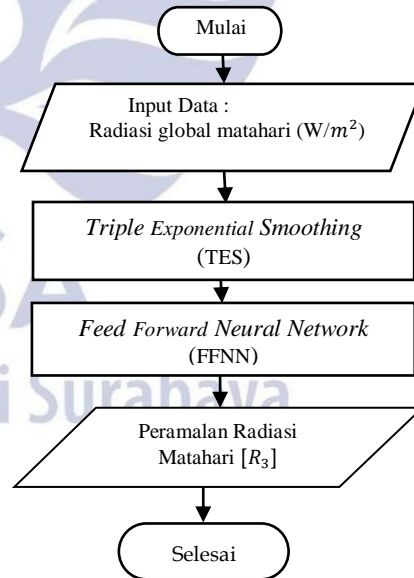
Keempat, hasil, tahap ini menjelaskan tentang keluaran dari *model* matematis *TES-FFNN* ialah hasil simulasi peramalan radiasi global matahari menggunakan *model TES-FFNN* menggunakan data masukan *input* data meteorologi berupa temperature, kecepatan angin, radiasi dan kelembapan udara dimana hasil akurasi peramalan menggunakan perhitungan MAPE. Kelima, penyusunan Laporan, pada tahapan penyusunan laporan memiliki tujuan untuk menyampaikan hasil dan analisis yang telah didapatkan dari penelitian.

Flowchart perancangan penelitian dapat dilihat pada gambar 3,



Gambar 3. *Flowchart* Perancangan Penelitian

Flowchart peramalan radiasi global matahari menggunakan *model TES-kNN-FFNN* dapat ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. *Flowchart* Peramalan *Model TES-FFNN*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknik Pengambilan Data

Cara pengambilan data bisa dijabarkan menjadi tiga tahap : Pertama dalam proses mengambil data untuk penelitian ialah menyediakan alat dan bahan yang diperlukan berupa *Solar Cell* dan anemometer. Solar Power Meter untuk mengukur radiasi global matahari, anemometer untuk mengukur kecepatan angin, kelembapan dan juga temperature.

Kedua ialah pengambilan data menggunakan *Solar Cell* dan anemometer. Dalam pengambilan data ini, data diambil dengan jangka waktu per-lima menit yang dimulai dari tanggal 12 November 2019 hingga 18 November 2019. Pada pukul 07.00-14.00 selama satu hari, sehingga data yang dimiliki secara keseluruhan sebanyak 595x4 yaitu 2380 data. Ketiga pada penelitian ini yaitu mencatat hasil dari pengambilan data menggunakan alat ukur tersebut setiap lima menit.

Teknik Analisis Data

Pada teknik analisis ini penulis mengolah data yang telah didapatkan dengan memakai *model TES* dan FFNN.

Model Triple Exponential Smoothing (TES)

Tahap *input* data, pada tahap ini data yang dijadikan sebagai data input ialah data radiasi global matahari selama 7 hari pada tanggal 12 November 2019 hingga 18 November 2019 dimulai dari pukul 07.00-14.00.

Tahap Perhitungan, perhitungan dalam *model* ini akan diuraikan sebagai berikut: (a) Menghitung nilai *seasonal* (musiman) pada hari pertama dengan rumus:

$$I_i = \frac{X_i}{A_L} \quad i=1, 2, \dots, L(6)$$

Keterangan:

- X_i = Nilai data aktual ke – i
- A_L = Nilai rata – rata data aktual pada musim pertama

(b) Menentukan nilai *trend* pada hari pertama pukul 14.00 sebesar 0 dan *level* pada hari pertama pukul 14.00 dengan rumus:

$$S_i = \frac{X_i}{I_i} \quad i=1, 2, \dots, L(7)$$

Keterangan:

- X_i = Nilai data aktual ke – i
- I_i = Nilai *seasonal* ke – i

(c) Menentukan nilai masing-masing dari persamaan S_t , I_t dan b_t untuk periode selanjutnya. Kemudian mengerjakan bagian dari peramalan pemulusan untuk periode ke berikutnya dari persamaan F_{t+m} dengan memakai rumus pada persamaan (2)-(5).

Model Triple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network (TES-FFNN)

Peramalan pada *model* ini menggunakan data input berupa data radiasi global matahari hasil dari peramalan *model* sebelumnya yang ditambahkan dengan 3 variable lainnya yaitu kecepatan angin, temperature, dan kelembapan. Kemudian data-data tersebut dinormalisasikan menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut:

Tahap dari menormalisasikan data dapat dijabarkan menggunakan persamaan sebagai berikut (Ardianto, dkk. 2019:103) :

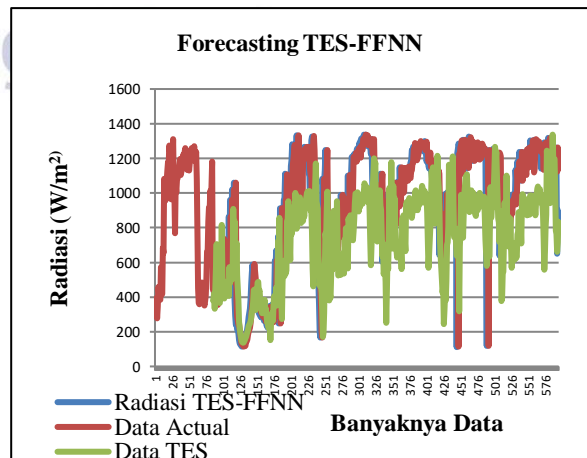
$$U' = \frac{u(x)-\min(x)}{\text{Range}(x)}(8)$$

Keterangan:

- U' = Hasil normalisasi yang memiliki kisaran nilai dari 0 hingga 1
- $u(x)$ = Nilai data yang akan dinormalisasikan
- $\max(x)$ = Nilai maksimum dari suatu data $\max(x)$
- $\min(x)$ = Nilai minimum dari suatu data $\min(x)$
- $\text{Range}(x)$ = Nilai yang berasal dari $(\max(x)-\min(x))$

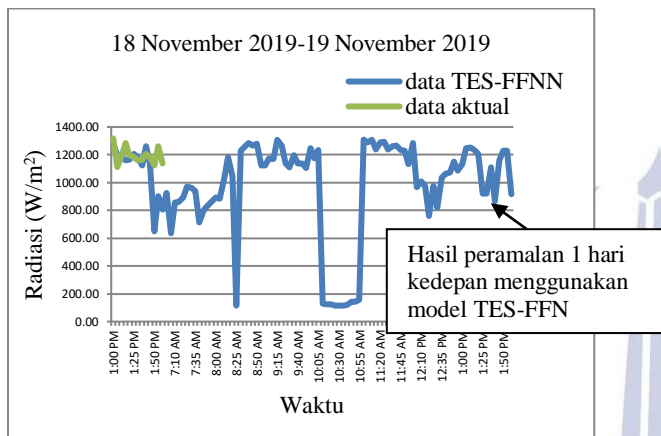
Arsitektur pada jaringan FFNN terdiri dari empat *input layer*, satu *hidden layer*, dan satu *output layer*. Akan diupdate bobot dan bias hingga MSE yang dikehendaki tercapai 0,00001 dengan maximal pengulangan sampai 500 iterasi.

Terdapat dua proses pada peramalan ini yaitu proses *testing* dan proses *training*. Pada tahap ini data input yang dimiliki dibentuk menjadi pola, pola tersebut dibagi menjadi dua bagian data yaitu data input dan juga data target. Pola dari *model* ini menggunakan pola 3, yang dimaksud dengan pola tiga adalah menggunakan data input pukul 07.00, 07.05,dan 07.10, data target menggunakan data pukul 07.15 dan seterusnya. Pola tersebut dibentuk hingga tanggal 19 November 2019, Tetapi untuk data pada tanggal 19 November 2019 diisi secara acak dari nilai 0-1.Tanggal 19 November 2019 merupakan hari peramalan dari *model* tersebut. Hasil dari *model TES-FFNN* diperlihatkan pada gambar 5, 6, dan gambar 7



Gambar 5. Grafik Hasil Model TES-FFNN 12-18 November 2019

Pada gambar 5 menunjukkan grafik dari nilai peramalan radiasi global matahari menggunakan *model* TES-FFNN dan juga *model* TES. Pada grafik tersebut juga disertakan data asli yang dimulai pada tanggal 12-18 November 2019. Kemudian hasil dari peramalan menggunakan *model* TES-FFNN untuk 1 hari kedepan yaitu pada tanggal 19 November 2019 ditunjukkan dengan grafik berwarna biru pada gambar 6.



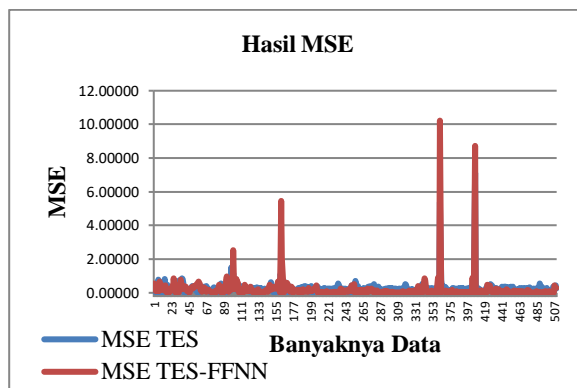
Gambar 6. Grafik Hasil *Model* TES-FFNN 18 November pada 13.00 WIB-19 November 2019 pukul 14.00 WIB

Tabel 2 Data hasil peramalan tanggal 19 November 2020

Waktu	Radiasi (W/m^2)
07.00	925,98
07.30	959,98
08.00	890,87
08.25	115,60
08.30	1230,99
09.00	1121,18
09.30	1108,59
10.00	1172,40
10.30	116,16
11.00	1308,98
11.30	1239,64
12.00	1282,41
12.30	819,44
13.00	1131,45
13.30	920,47
14.00	917,85

Tabel diatas merupakan hasil dari nilai peramalan untuk satu hari kedepan pada tanggal 19 November 2019 menggunakan *model* TES-FFNN.

Hasil MAPE dari *model* TES adalah 0,2703% sedangkan untuk peramalan *model* TES-FFNN adalah 0,2013%. Perhitungan dari MAPE untuk kedua *model* diatas menggunakan persamaan (1). Perhitungan akurasion peramalan menggunakan metode MSE (*Mean Square Error*) untuk *model* TES dan TES-FFNN dapat kita lihat hasilnya pada gambar 7 sebagai berikut,



Gambar 7. Grafik Hasil MSE pada 13-18 November 2019

SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah peramalan radiasi global matahari menggunakan *model Triple Exponential Smoothing-Feed Forward Neural Network* (TES-FFNN) menghasilkan nilai radiasi global matahari yang lebih baik dibandingkan dengan nilai peramalan radiasi global matahari menggunakan *model Triple Eksponential Smoothig* (TES). Kesimpulan tersebut diambil berdasarkan dari nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang dihasilkan, pada *model* TES nilai MAPE yang dihasilkan adalah 0,2703% sedangkan nilai MAPE dari *model* TES-FFNN adalah 0,2012%. Semakin kecil nilai MAPE yang dihasilkan maka semakin baik nilai peramalan tersebut. Hasil peramalan radiasi global matahari menggunakan *model* TES-FFNN tanggal 19 November 2019 pada pukul 07.00 WIB sampai 14.00 WIB menghasilkan nilai maksimum yang terdapat pada pukul 11.00 WIB sebesar $1308,2 W/m^2$ dan nilai minimum pada pukul 8.25 WIB sebesar $111,4 W/m^2$ yang menjadi bagian dari grafik pada gambar 6 dan table 2.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbanyak variasi neuron pada tahap peramalan agar dapat mengurangi nilai eror yang dihasilkan. Karena semakin banyak data yang digunakan akan semakin baik dan akurat hasil penelitian yang didapatkan. Dalam pengambilan data disarankan untuk mengambil data dengan nilai angka dibelakang koma lebih dari satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwana, Moch. Nur. 2019. *Desain Photovoltaic dan Peramalan Jangka Pendek Radiasi Sinar Matahari Menggunakan Model Feed-Forward Neural Network*. Jurnal Teknik Elektro. Volume 09 Nomor 01 Tahun 2020. Halaman 757-764.
- Ardianto, Dwi. 2019. *Peramalan Daya Listrik Jangka Sangat Pendek Pembangkit Termal Berdasarkan Data Meteorologi Menggunakan Model k-Nearest Neighbor- Artificial Neural Network*. Jurnal Teknik Elektro. Volume 08 Nomor 01 Tahun 2019, 101 - 109.

- Bolilera, Agustinus., dkk. 2019. *Buletin Informasi Meteorologi Edisi Iv Bulan April 2019*, (Online), (http://www.meteoalor.id/uploads/buletin/2019/04/buletin%20mali_April_2019.pdf/), diakses tanggal 12 Februari 2019).
- Chang, P. C., Wang, Y. W., and Liu, C. H. 2017. *The Development of a Weghted Evolving Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting*. Elsevier, 32 (Expert Systems with Applications), pp. 86-96.
- Danim, Sudarwan. 2002. *Menjadi Peneliti Kualitatif*. Bandung: Pustaka Setia.
- Dev, Soumyabrata., dkk. 2018. *Solar Irradiance Forecasting Using Triple Exponential Smoothing*. 978-1-5386-5326-5/18/\$31.00 © 2018 IEEE.
- Ellwood Buffa S dan Sarin R. 1996. *Manajemen Operasi dan Produksi Modern*. Jakarta: Binarupa Aksara
- Handaga, Bana & Hasyim Asy'ari. 2012. *Kombinasi Algoritma Cuckoo-Search Dan Levenberg-Marquadt (CS-LM) Pada Proses Pelatihan Artificial Neural Network (ANN)*. Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012 ISSN : 1412-9612
- Hutasuhut, Amira H., dkk. 2014. *Pembuatan Aplikasi Pendukung Keputusan Untuk Peramalan Persediaan Bahan Baku Produksi Plastik Blowing dan Inject Menggunakan Model ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) Di CV. Asia*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 3, No. 2, (201 4) ISSN: 2337-3539 (2301 -9271 Print).
- Lestari, Meri. 2017. *Penerapan Genetic Algorithm-Feed Forward Neural Network Untuk Mendiagnosa Penyakit Lambung*, (Online), (<http://repository.uin-suska.ac.id/id/eprint/18157>), diakses 17 Desember 2019).
- Makridakis, S., dan Wheelwright, S. C. 1994. *Model dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Margaret, Vijaya & Jeenu Jose. 2015. *Exponential Smoothing Models for Prediction of Solar Irradiance*. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 4, Issue 2, February 2015.
- Meinanda, Annisa, Narendi, dan Suryadi. 2009. *Prediksi Masa Studi Sarjana dengan Artificial Neural Network*. Interner Working Indonesia Journal Vol. 1, No.2, (2009) ISSN:1942-9703.
- Render dan Heizer. 2005. *Manajemen Operasi.(Operations Management: Ratna Juwita)*. Jakarta: Salemba Empat.
- Sabrian, Panggea G. (2013). *Kajian Potensi Energi Matahari di Pulau Tarakan. Program Studi Meteorologi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung .
- Setiawan, Koprinska & Agelidis. 2009. *Very Short Term Electricity Load Demand Forecasting Using Support Vector Regression*. 31 July 2009.
- Tjasyono, B. 2004. *Klimatologi*. Bandung: ITB.
- Watetakarn, S& S. Premrudeepreechacharn. 2016. *Forecasting Of Solar Irradiance For Solar Power Plants By Artificial Neural Network*. 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA);doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7387180.