

OPTIMASI KINERJA INVERTER PADA SMARTGRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM BERBASIS NEURAL NETWORK

Muhammad Rizka Ardiansyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
email: muhammadrizka.19076@mhs.unesa.ac.id

Unit Three Kartini

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: unitthree@unesa.ac.id

Abstrak – Cahaya matahari merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi listrik. Beberapa penelitian menyatakan bahwa cahaya matahari dapat dimanfaatkan melalui panel surya untuk diubah menjadi energi listrik dan dikonsumsi oleh manusia secara langsung. Sumber tenaga listrik dari panel surya dapat dimanfaatkan pada rumah tangga sebagai energi alternatif selain bersumber dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan menggunakan teknologi *smartgrid*. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *smart off grid*, arus listrik yang dikeluarkan panel surya adalah arus searah, sehingga pemanfaatan listrik pada perumahan yang menggunakan arus bolak-balik harus memakai suatu komponen yang bernama *inverter*. Perubahan nilai arus masuk pada inverter menyebabkan keluaran inverter kurang optimal. Penelitian bertujuan untuk memperoleh informasi dari hasil optimasi kinerja inverter menggunakan metode *Neural Network* pada perancangan *smart off grid photovoltaic system*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan antara hasil keluaran inverter dengan menggunakan metode *Neural Network* dan tanpa menggunakan metode. Metode tersebut dapat mengoptimasi terhadap gelombang arus listrik bolak-balik/*alternating current* (AC) keluaran inverter pada perancangan *smart off grid photovoltaic system*. Dengan memakai variabel input arus yang masuk selama proses pada inverter. Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai tegangan yang diperoleh dari percobaan yang menggunakan metode *Neural Network* memiliki rata-rata 14 V, sedangkan yang keluar dari inverter memiliki rata-rata 13,8 V. Nilai *Mean Average Precentage Error* (MAPE) sebesar 1.48% dimana nilai tersebut merupakan kemampuan yang baik sehingga bisa dikatakan bahwa penggunaan metode *Neural Network* cukup optimal dan lebih baik.

Kata Kunci: desain, *smart off grid system*, *photovoltaic*, *neural network*, baterai, inverter

Abstract – Sunlight is a source of energy that can be used for electrical energy needs. Several studies state that sunlight can be utilized through solar panels to be converted into electrical energy and consumed by humans directly. The source of electricity from solar panels can be used in households as an alternative energy source other than Perusahaan Listrik Negara (PLN) by using *smartgrid* technology. In a *smart off grid*-based Solar Power Plant (PLTS), the electric current issued by the solar panel is direct current, so the use of electricity in housing that uses alternating current must use a component called an inverter. Changes in the value of the input current to the inverter cause the inverter output to be less than optimal. This study aims to obtain information about the results of inverter performance optimization using the *Neural Network* method in the design of a *smart off grid photovoltaic system*. The research was conducted by comparing the inverter output using the *Neural Network* method and without using the method. This method can optimize the alternating current (AC) inverter output in the design of a *smart off grid photovoltaic system*. By using a variable input current that enters during the process on the inverter. The results showed that the voltage value obtained from the experiment using the *Neural Network* method has an average of 14 V, while the output from the inverter has an average of 13.8 V. The *Mean Average Precentage Error* (MAPE) value is 1.48% where this value is a good ability so that it can be said that the use of the *Neural Network* method is quite optimal and better.

Keywords: design, *smart off grid system*, *photovoltaic*, *neural network*, battery, inverter

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu bentuk tenaga yang tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Contoh energi populer saat ini yaitu energi listrik, dimana energi tersebut hasil dari perubahan sumber energi primer lalu diubah menjadi

energi listrik. Contoh energi yang dimanfaatkan sebagai energi listrik adalah cahaya matahari. Beberapa penelitian menyatakan bahwa cahaya matahari dapat dimanfaatkan melalui panel surya untuk diubah menjadi energi listrik yang dapat dikonsumsi oleh manusia secara langsung.

Namun, pemanfaatan panel surya masih jarang ditemukan pada rumah tangga karena masih banyak menggunakan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Selain itu, pemanfaatan listrik dengan panel surya masih terlihat awam bagi sebagian masyarakat.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Buku Statistik PLN Tahun 2019 menyatakan bahwa jumlah pelanggan pada akhir tahun 2019 sebesar 75.705.614 pelanggan di mana jumlah tersebut meningkat 5,27% dari akhir tahun 2018. Menurut jumlah pelanggan per jenis pelanggan, untuk jenis rumah tangga sebesar 69.619.877 pelanggan atau 91,96% dari total jumlah pelanggan pada akhir tahun 2019 [1]. Dari data tersebut terlihat bahwa konsumsi energi listrik rumah tangga masih banyak yang bersumber dari PLN. Sehingga penggunaan panel surya sebagai sumber energi listrik pada rumah tangga masih tergolong sangat jarang.

Teknologi berkembang dengan cepat seiring bertambahnya kebutuhan manusia. Tidak dapat dipungkiri bahwa manusia menciptakan teknologi untuk mempermudah beberapa pekerjaan yang sedang dijalankan. Salah satu contohnya adalah teknologi *smartgrid* pada panel surya yang menjadi sumber tenaga listrik mandiri pada rumah tangga. Penggunaan panel surya sebagai sumber energi listrik dapat dimanfaatkan pada rumah tangga sebagai energi alternatif selain bersumber dari PLN. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis *smart off grid*, terdiri dari komponen yang menjadi satu kesatuan, yaitu panel surya/*photovoltaic*, *solar charge controller*, *rectifier charger*, baterai, dan *inverter*. Arus listrik yang dikeluarkan panel surya adalah arus searah, sehingga pemanfaatan listrik rumah tangga yang menggunakan arus bolak-balik harus memakai suatu komponen yang bernama *inverter*. Namun, perubahan nilai arus yang masuk pada *inverter* menyebabkan nilai arus keluaran *inverter* kurang optimal.

Pada Penelitian kali ini menjelaskan tentang perancangan atau desain *smart off grid photovoltaic system* untuk mengoptimasi keluaran *inverter* menggunakan metode *Neural Network*. Sebelumnya penelitian sudah pernah dilakukan oleh Bayu Prasetyo yang berjudul *Desain dan Implementasi Photovoltaic Single Stage Inverter dengan Maximum Power Point Tracking Berbasis Artificial Neural Network Terhubung Ke Sistem Jala-Jala* membahas tentang perancangan dan implementasi penggunaan *Single Stage Photovoltaic (SSP) Inverter* dengan menggunakan metode *Neural Network* pada sistem grid [2]. Kemudian Yusuf Dewantoro, Mochammad Facta, dan Iwan Setiawan yang berjudul *Desain dan Implementasi Voltage-Source Inverter Tiga Fase Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM) Dengan DSPIC30F4011* membahas tentang perancangan dan implementasi penggunaan inverter tiga

fasa teknik sinyal *Uniform Pulse Width Modulation* dengan menggunakan mikrokontroler DSPIC30F4011 [3]. Kemudian Velide Srinath, ManMohan Agarwal, Devendra Kumar Chatuvedi dengan judul *Design and Simulation of a Single-Phase SHEPWM Inverter-Fed Induction Motor Drive Using Generalized Hopfield Neural Network* membahas tentang rancang bangun motor induksi dengan umpan inverter satu fasa menggunakan teknik SHEPWM dan metode GHNN [4]. Kemudian, Ghifery Indana, Azmi Saleh, dan Andi Setiawan yang berjudul *Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) Grid-Tied dengan Metode Neural Network* membahas tentang perancangan Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) *Grid Tied*, merupakan sistem yang menghubungkan *solar array* dan baterai yang terhubung dengan beban serta grid PLN menggunakan metode *neural network* [5].

Berdasarkan referensi penelitian di atas, beberapa penelitian banyak membahas mengenai perancangan atau desain dan implementasi *inverter* pada berbagai sistem dan metode dengan variabel daya, temperature, dan lain-lain. Pada penelitian kali ini memiliki kebaharuan penggunaan metode *neural network* untuk mengoptimasi keluaran *inverter* pada perancangan *smart off grid photovoltaic system*. Metode tersebut dapat mengoptimasi terhadap perubahan gelombang arus listrik bolak-balik/*alternating current* (AC) pada keluaran *inverter* dalam desain teknologi *smart off grid photovoltaic system*. Dengan memakai variabel input arus yang masuk selama proses pada *inverter*.

Dari teori di atas didapat rumusan masalah, yaitu melakukan optimasi terhadap perubahan gelombang arus listrik bolak-balik/*alternating current* (AC) pada keluaran *inverter* dalam desain *smart off grid photovoltaic system* menggunakan metode *neural network*.

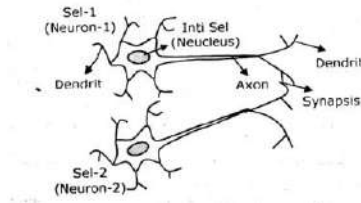
Penggunaan data untuk mendukung penelitian ini yaitu *input* arus yang masuk ke *inverter*. Pengambilan data untuk penelitian dilakukan di rumah tempat tinggal penulis dengan pengoperasian alat yang ada. Landasan teori pembentuk artikel ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

II. LANDASAN TEORI

Neural Network

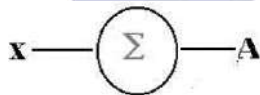
Neural Networks (NN) adalah suatu metode yang digunakan untuk memproses bagaimana suatu perangkat dapat mengenali dan merespon tugas yang diterima dari perangkat tersebut [6]. Metode ini merupakan representasi dari jaringan syaraf biologis yang terdapat pada makhluk hidup khususnya manusia. Jaringan syaraf biologis terdapat banyak neuron dan saling tersambung. Komponen utama pada tiap neuronnya, yaitu *dendrit*, *akson*, dan *soma*. *Dendrit* dan *akson* berfungsi menyalurkan informasi dari neuron satu ke neuron lain berupa *impuls*¹ elektrik. *Soma*

berfungsi untuk menjumlahkan seluruh informasi dari dendrit dengan bantuan *synaptic gap*. Banyaknya penjumlahan informasi berpengaruh terhadap besarnya informasi pada neuron, artinya berpengaruh pada tingkat kecerdasan manusia [6].



Gambar 1. Jaringan Syaraf Biologis.
(Sumber: Bondan Himawan, 2007)

Pada metode NN, komunikasi antara node² diproses dari satu node ke node lainnya setiap ada impuls masuk. Hubungan dari satu node ke node yang lainnya disebut layer. Untuk implementasi bertambahnya informasi oleh *soma*, pada metode NN, setiap layernya memiliki suatu bobot yang kemudian dijumlahkan secara keseluruhan. Jumlah bobot tersebut yang kemudian digunakan oleh beberapa node untuk memproses persoalan atau permasalahan. Bobot tersebut dapat disama artikan sebagai kasi yang terjadi di *synaptic gap* pada proses kimia untuk jaringan syaraf biologis [6].



Gambar 2. NN neuron tunggal.
(Sumber: Bondan Himawan, 2007)

- 1 Impuls yaitu rangsangan atau yang disampaikan oleh neuron satu dan diterima neuron lainnya,
- 2 Node merupakan neuron yang dipakai dalam metode NN.

Back Propagation Neural Network

Backpropagation ialah salah satu bagian dari *neural network* dengan lapisan yang banyak dan dipakai pada perkiraan *time series*. Algoritma mengaktifkan neuron ke arah maju (*forward*) dengan memakai aktifasi yang dapat dideferensialkan untuk mendapatkan *error output*. Selanjutnya *error output* tersebut dipakai untuk mengubah nilai bobot ke arah mundur (*back*). Untuk menurunkan tingkat kesalahan, dilakukan dengan memodifikasi perubahan bobot [10].

Algoritma pelatihan *backpropagation* sebagai berikut [10]:

- a. Langkah pertama: menginisialisasi seluruh bobot memakai angka kecil secara acak, *epoch* = 1, kemudian menentukan laju percepatan (α), kemudian jumlah unit pada layer tersembunyi (p) dan menentukan penghentian. Penghentian dapat menghasilkan *error target* dan maksimum *epoch*.

- b. Langkah kedua: Apabila maksimum *epoch* tidak sama dengan *epoch* dan *error target* kurang dari *mean square error* (MSE), maka lanjut ke langkah tiga sampai dengan sepuluh.
- c. Langkah ketiga: Setiap pasangan data pada pelatihan (1 sampai dengan a dengan a merupakan jumlah data pada pelatihan, maka lanjut ke langkah empat sampai dengan Sembilan.
- d. Fase Pertama: Propagasi Maju

Langkah keempat: Setiap *input* unit menerima sinyal dan melanjutkan ke unit tersembunyi yang berada pada atas.

Langkah kelima: Menghitung seluruh *output* unit tersembunyi (z_j) dengan $j = 1, 2, \dots, p$

$$z_{netj} = v_{j0} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ji} \quad (1)$$

$$z_j = f(z_{netj}) = \frac{1}{1 + e^{-z_{netj}}} \quad (2)$$

Langkah keenam: Menghitung seluruh *output* jaringan pada unit (Y_k) dengan ($k = 1, 2, \dots, m$)

$$y_{netk} = w_{k0} + \sum_{j=1}^p z_j w_{kj} \quad (3)$$

$$y_k = f(y_{netk}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{netk}}} \quad (4)$$

- e. Fase Kedua: Propagasi Mundur

Langkah ketujuh: Menghitung faktor δ *output* unit berdasarkan kesalahan pada tiap *output* unit (y_k) dengan $k = 1, 2, \dots, m$

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{netk}) = (t_k - y_k) y_k (1 - y_k)$$

Suku perubahan bobot (W_{kj}) kemudian dihitung dengan laju percepatan (α)

$$\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j; \quad (5)$$

$k = 1, 2, \dots, m;$

$j = 0, 1, \dots, p$

Langkah kedelapan: Menghitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan pada tiap unit tersembunyi (z_j) dengan $j = 1, 2, \dots, p$

$$\delta_{netj} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{kj} \quad (6)$$

$$\delta_j = \delta_{netj} f'(z_{netj}) = \delta_{netj} z_j (1 - z_j) \quad (7)$$

Suku perubahan bobot (v_{ji}) kemudian dihitung dengan laju percepatan (α)

$$\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i; \quad (8)$$

$j = 1, 2, \dots, p;$

$i = 0, 1, \dots, n$

- f. Fase Ketiga: Perubahan Bobot

Langkah kesembilan: Menghitung seluruh perubahan pada bobot. Perubahan bobot yang mengarah ke *output* unit.

$$w_{kj}(\text{baru}) = w_{kj}(\text{sekarang}) + \Delta w_{kj}; \quad (9)$$

$k = 1, 2, \dots, m;$

$j = 0, 1, \dots, p$

Perubahan bobot yang mengarah ke unit tersembunyi.

$$v_{kj}(\text{baru}) = v_{kj}(\text{sekarang}) = \Delta v_{ji}; \quad (10)$$

$$j = 1, 2, \dots, p;$$

$$i = 0, 1, \dots, n$$

g. Langkah kesepuluh: Memperbarui nilai *epoch*.

$$\text{epoch} = \text{epoch} + 1$$

dan menghitung *mean squared error* (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{k=1}^a (t_k - y_k)^2}{a} \quad (11)$$

Sistem Smart Off Grid

Off Grid merupakan sistem pembangkitan listrik yang bersumber dari cahaya matahari untuk wilayah terpencil yang tidak terjangkau oleh sistem grid [7]. Sistem *Off Grid* bisa dikatakan sebagai sistem *photovoltaic* mandiri yang hanya mengandalkan sumber energi primer yaitu cahaya matahari dengan cara memakai modul panel surya *photovoltaic* [7].

Panel Surya Photovoltaic

Panel surya ialah komponen pengkonversi energi yang mengubah intensitas sinar matahari menjadi elektron yang bergerak. Elektron bergerak tersebut dikenal dengan arus listrik. Panel surya terdapat komponen utama yaitu silikon yang berfungsi mengubah intensitas cahaya matahari menjadi listrik. Pada saat kondisi sedang kurang atau lemah intensitas cahaya, menyebabkan energi listrik yang dihasilkan juga kurang atau lemah. Apabila jumlah panel surya ditambah atau diperluas, artinya konversi tenaga surya juga bertambah besar [8].

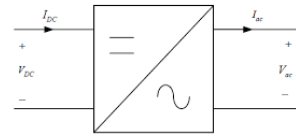
Teknologi panel surya dapat menghasilkan suatu daya mencapai 1000 watt/m² saat terik pada saat siang hari. Hal tersebut dikarenakan intensitas cahaya matahari nilainya adalah paling besar saat kondisi terik pada siang hari. Apabila komponen semikonduktor dengan luasan satu m² dan efisiensi 12%, maka daya yang dibangkitkan oleh panel surya mencapai 120 Watt. Panel surya yang populer di pasaran memiliki efisiensi sebesar 4% sampai dengan 16%. Hal yang menjadi pembeda pada nilai efisiensi tersebut bergantung dari bahan atau komponen utama panel surya. Jika dibandingkan bahan lain, panel surya yang berbahan *Silicon Cristal* mempunyai nilai efisiensi tertinggi, namun biaya yang keluar juga lebih mahal. Hal tersebut juga menjadi suatu persoalan atau permasalahan dalam implementasi secara massal di lapangan [8].

Setiap sel menghasilkan tegangan sekitar 0,5 Volt dan arus 2 A. Panel surya juga menghasilkan arus 30 mA/cm² /sel dengan kekuatan radiasi cahaya matahari mencapai 1000 W/m² = "1 Sun" [8].

Inverter

Inverter merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkonversi arus listrik searah ke arus listrik bolak-balik [9]. Umumnya tegangan yang keluar adalah 220 VAC.

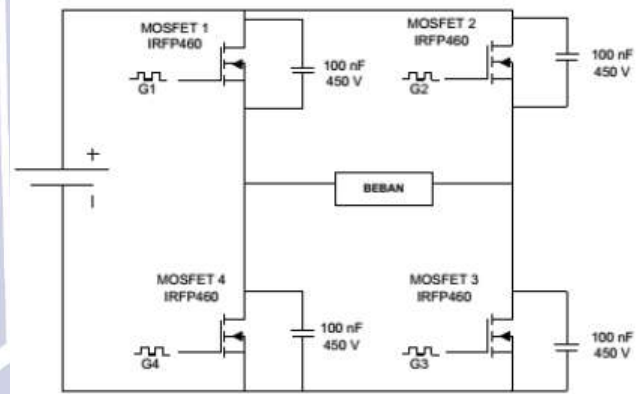
Inverter diperlukan pada *Solar Panel System* untuk mengubah tegangan *output* searah pada panel surya atau baterai menjadi tegangan *output* bolak-balik. Contoh peralatan listrik yang dapat menggunakan tegangan *output inverter* seperti motor listrik, pompa air, dan lain-lain [9].



Gambar 3. Simbol Inverter
(Sumber: Aqidatul Izzah, 2017)

Inverter Full Bridge

Inverter full bridge digunakan untuk mengkonversi tegangan searah sebesar 220 V yang keluar dari *rectifier* ke tegangan bolak-balik sebesar 220 V dan menghasilkan frekuensi sebesar 50 Hz. Pengaturan periode gelombang *output* dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai frekuensi [9].



Gambar 4. Rangkaian Inverter Full Bridge
(Sumber: Aqidatul Izzah, 2017)

Baterai atau Aki

Baterai atau aki merupakan proses kimia listrik, dimana terdapat dua kali proses, yaitu pengisian (*charge*) dan pengeluaran (*discharge*). Pengisian adalah konversi dari listrik ke kimia, sedangkan pengeluaran adalah konversi dari kimia diubah ke listrik [8].

III. METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kualitatif. Penelitian kali ini memiliki beberapa langkah diantaranya melakukan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian, persiapan alat dan bahan, perancangan sistem, permodelan sistem, memprogram dan menganalisa hasil pengujian dan perhitungan menggunakan metode *Neural Network*, menyusun laporan penelitian.



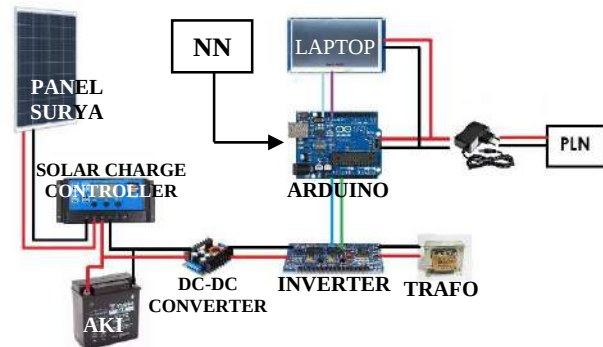
Gambar 5. Flowchart Rancangan Penelitian
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

Pada Gambar 5 dapat dijelaskan dengan langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur yaitu mengumpulkan beberapa informasi dari buku atau jurnal untuk mendukung dalam proses penyusunan penelitian ini.
2. Persiapan Alat dan Bahan dilakukan dengan mempersiapkan alat serta bahan yang dipakai dalam perancangan dan simulasi sistem.
3. Perancangan, Permodelan, dan Pembuatan Prototype dilakukan dengan membuat perancangan atau desain alat, kemudian membuat permodelan menggunakan Aplikasi Simulink Matlab, kemudian mengimplementasikan ke dalam alat yang sudah ada.
4. Pemrograman dan Analisa dilakukan setelah langkah ketiga selesai dengan mensimulasikan sistem kemudian mencatat data yang diperlukan.
5. Hasil berupa hasil grafik dan tabel dari simulasi *inverter* yang menggunakan metode *neural network* dan tanpa metode.
6. Penulisan laporan, untuk menuliskan dan melaporkan hasil pembahasan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan.

Perancangan Sistem

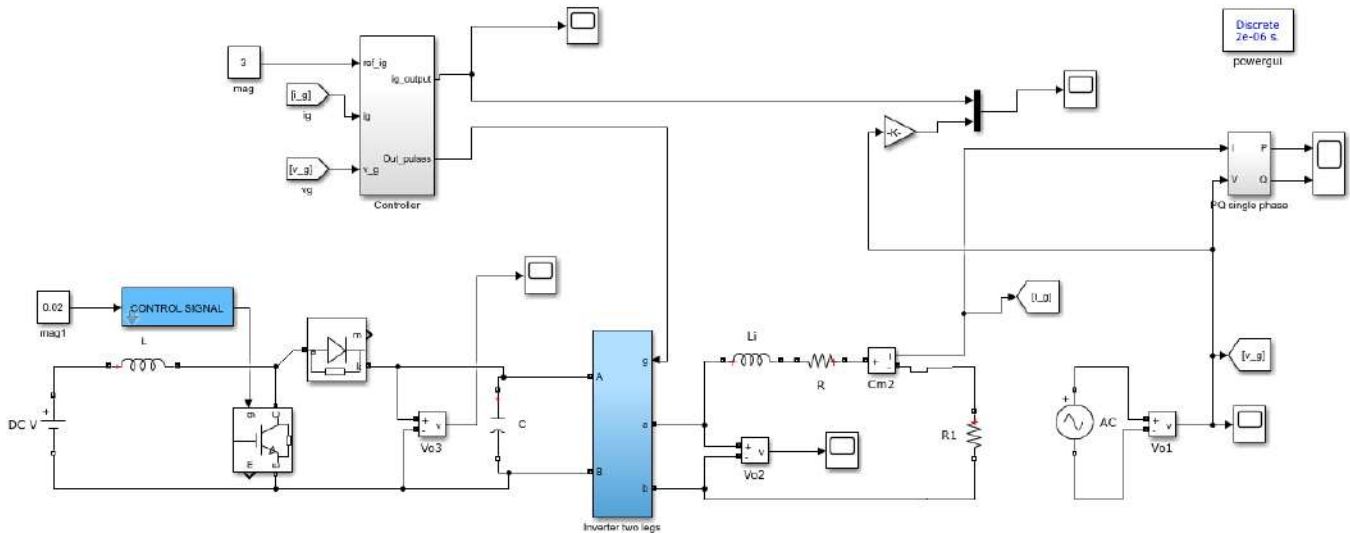
Perancangan sistem merupakan perancangan rangkaian *inverter* pada desain *smart off grid photovoltaic* dengan menggunakan metode *neural network* dan Arduino ATmega328 sebagai mikrokontrolernya. Pada perancangan sistem terdapat beberapa komponen yang digunakan, yaitu panel surya/*photovoltaic*, *solar charge controller*, baterai/akumulator, *DC to DC converter*, modul *inverter*, transformator 3A, dan mikrokontroler Arduino ATmega328. Gambar 6 merupakan perancangan alat *inverter* pada *smart off grid photovoltaic*.



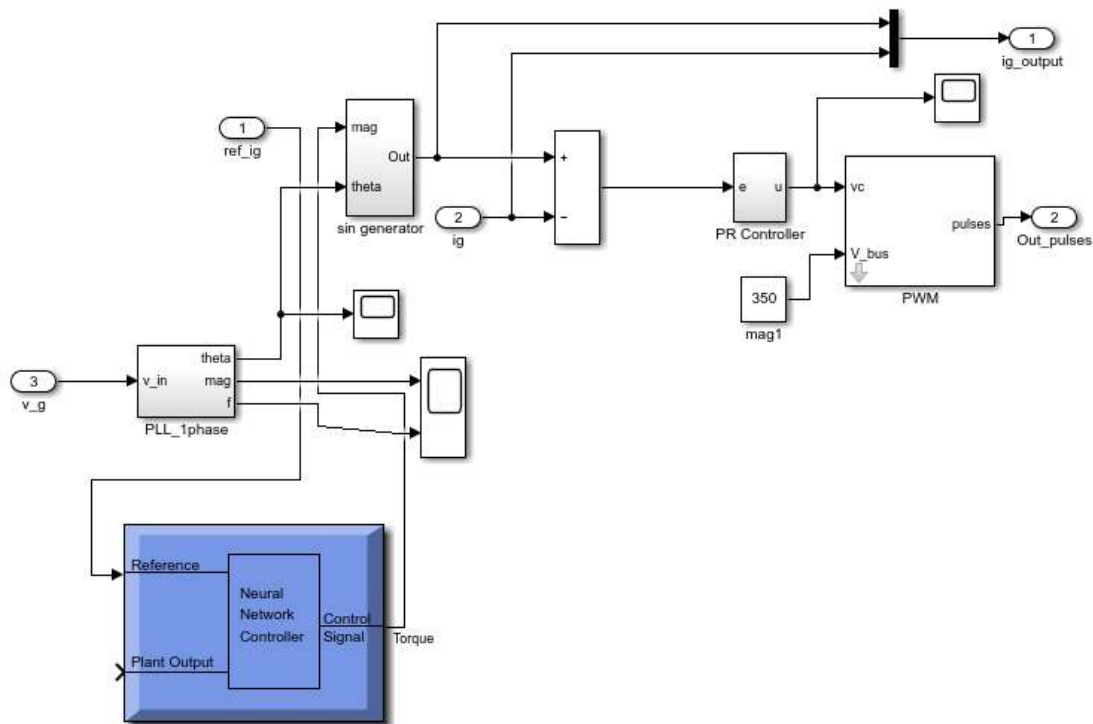
Gambar 6. Rancangan Alat Smart Off Grid Photovoltaic System Tanpa Beban
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

Simulasi Sistem

Simulasi sistem dilakukan menggunakan program Simulink pada software MATLAB 2019. Pada Gambar 7 merupakan permodelan rangkaian *Inverter* pada Desain *Smart Off Grid Photovoltaic* dengan menggunakan metode *Neural Network* sebagai kontrolernya. Pada simulasi sistem juga terdapat tegangan AC *output* yang dipakai, yaitu tegangan AC *output* dari *Inverter* dan tegangan AC *output* dari sumber PLN. Hal tersebut untuk mengetahui titik perbedaan maupun persamaan gelombang tegangan AC *output* yang dihasilkan oleh *Inverter* dengan gelombang tegangan referensi AC *output* dari PLN.



Gambar 7. Permodelan Desain *Smart Off Grid* metode *Neural Network* untuk Optimasi Keluaran Inverter pada software MATLAB
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



Gambar 8. Blok *Neural Network Controller* untuk Optimasi Keluaran Inverter pada software MATLAB
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

Pada saat simulasi diperlukan beberapa parameter indikator yang digunakan. Parameter indikator *Neural Network* yang digunakan dalam sistem antara lain: jumlah input layer, jumlah hidden layer, jumlah output layer, maksimum input layer, minimum input layer, maksimum output layer, dan minimum output layer, jumlah sampel. Sedangkan parameter indikator yang digunakan untuk inverter adalah input arus, nilai hambatan, dan nilai induktor.

Tabel 1 Parameter Indikator *Neural Network*

Jumlah Input Layer	1
Jumlah Hidden Layer	2
Size Hidden Layer	15
Jumlah Output Layer	1
Maksimum Plant Input	15
Minimum Plant Input	0
Maksimum Plant Output	15
Minimum Plant Output	0

Jumlah Sampel	500, 1500, 3000, 4500, 6000
Epoch	300

Tabel 2 Parameter Indikator *Inverter*

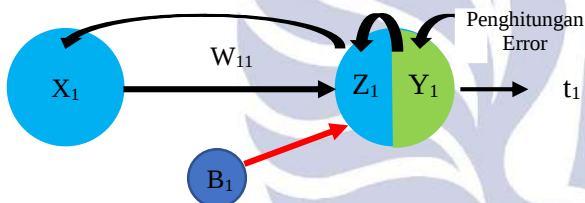
Input Arus (I)	3 A
Resistor (R)	100 ohm
Induktor (L)	3.8e-3 H

Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan simulasi sistem permodelan menggunakan aplikasi Simulink pada Matlab, kemudian melakukan percobaan alat yang sudah ada dengan menggunakan beberapa parameter indikator. Hasil pengumpulan data ini berupa tegangan yang ditampilkan melalui angka dan grafik yang kemudian digunakan untuk penelitian ini.

Teknik Pemrosesan Data

Pada pemrosesan data terdapat mapping data yang dilakukan dengan melakukan rancangan data sesuai arsitektur pada metode *backpropagation* dengan 1 unit input (x_1) dan 1-unit target (y_t). Rancangan diperoleh dengan variabel input arus yang belum dioptimasi sebagai x_1 dan dan arus yang sudah dioptimasi sebagai y_1 .

Gambar 9. Arsitektur *Backpropagation* NN (Sumber: Data Pribadi, 2021)**Teknik Analisis Data**

Tahap analisis data dengan mengolah data yang sudah dikumpulkan menggunakan perhitungan *Neural Network* (NN). Proses perhitungan menghasilkan bobot yang kemudian digunakan untuk pengujian. Pengujian yang dihasilkan adalah nilai *Mean Average Percentage Error* (MAPE):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - y_t}{x_t} \right|}{n} \times 100\% \quad (12)$$

Analisis terhadap nilai MAPE dijelaskan pada tabel di bawah [11].

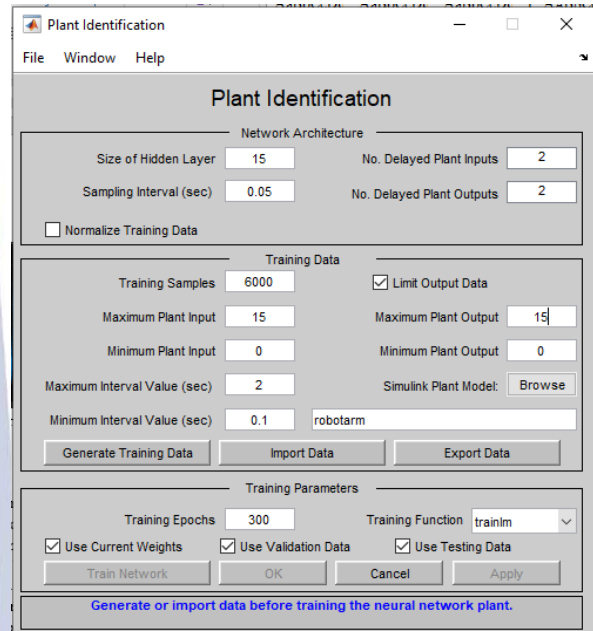
Tabel 3 Rentang Nilai MAPE

Rentang Nilai	Arti
< 10 %	Kemampuan metode sangat baik
10 % - 20 %	Kemampuan metode baik
20 % - 50 %	Kemampuan metode buruk
> 50 %	Kemampuan metode sangat buruk

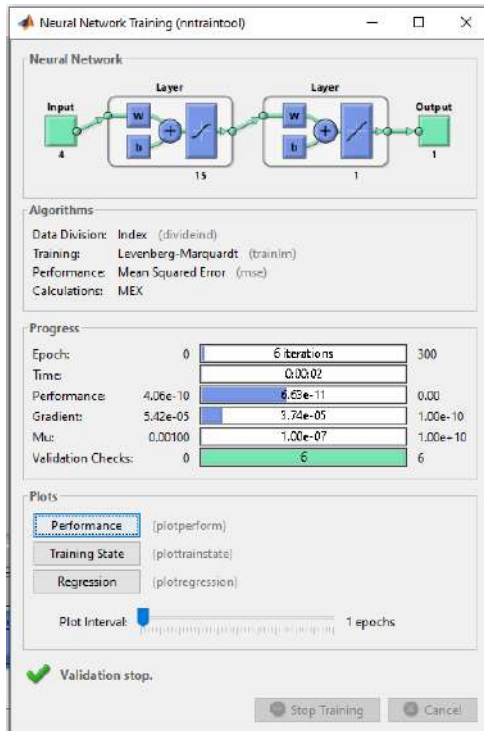
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dari “Optimasi Kinerja *Inverter* pada *Smartgrid Photovoltaic System* Berbasis *Neural Network*” berupa tabel dan grafik keluaran gelombang tegangan inverter yang berasal dari perancangan dan simulasi sistem.

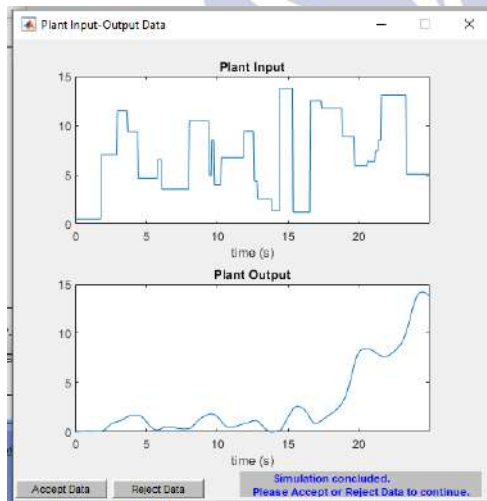
Percobaan simulasi menggunakan metode Neural Network dilakukan dengan memasukkan beberapa nilai parameter seperti pada Gambar 10.

Gambar 10. *Plant Identification* untuk Percobaan dan Pengujian (Sumber: Data Pribadi, 2021)**Percobaan Ke-1**

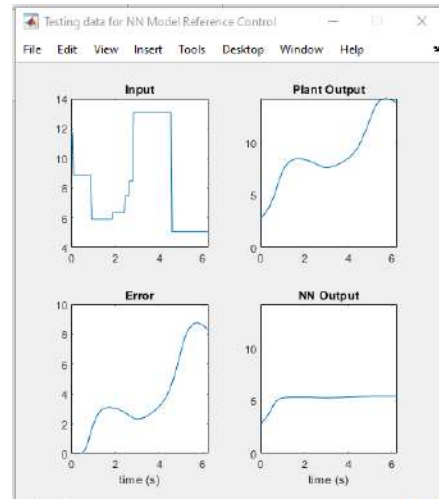
Pada percobaan pertama menggunakan sebanyak 500 nilai sampel. Plant adalah sistem yang menggunakan metode *Neural Network*, untuk *input* adalah sampel, kemudian grafik *output* adalah keluaran dari plant, untuk *error* merupakan selisih perbandingan dari *output* terhadap *input*.



Gambar 11. Pengujian Menggunakan Metode Neural Network
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



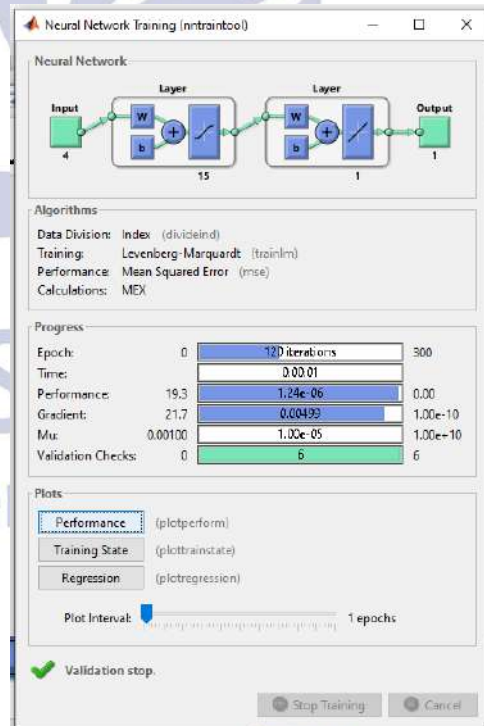
Gambar 12. Grafik Gelombang Tegangan *Plant Input* dan *Output* pada Pengujian menggunakan *Neural Network Controller*
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



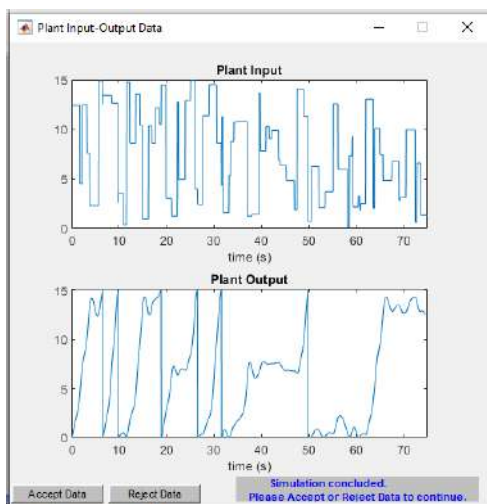
Gambar 13. Testing Data Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* dengan Metode *Neural Network*
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

Percobaan Ke-2

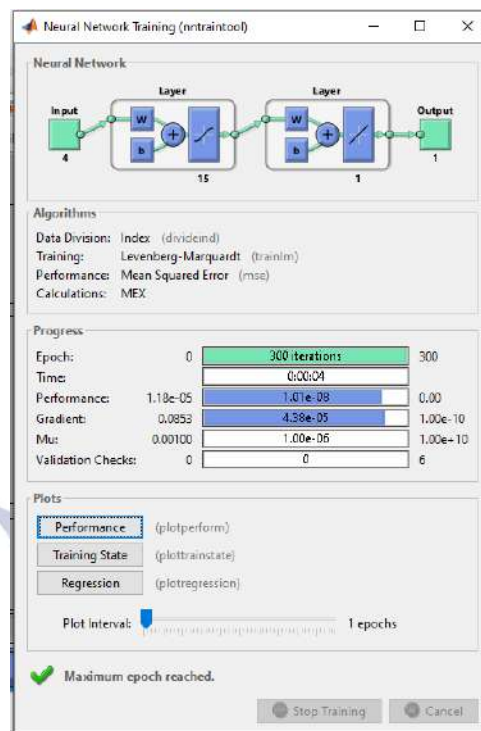
Pada percobaan kedua menggunakan sebanyak 1500 nilai sampel. *Plant* adalah sistem yang menggunakan metode *Neural Network*, untuk *input* adalah sampel, kemudian grafik *output* adalah keluaran dari *plant*, untuk *error* merupakan selisih perbandingan dari *output* terhadap *input*.



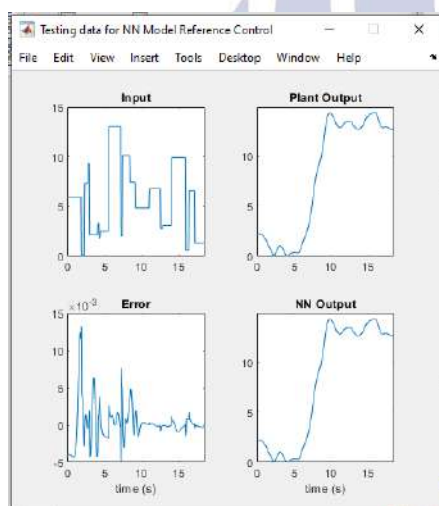
Gambar 14. Pengujian Menggunakan Metode Neural Network
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



Gambar 15. Grafik Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* pada Pengujian menggunakan *Neural Network Controller*
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



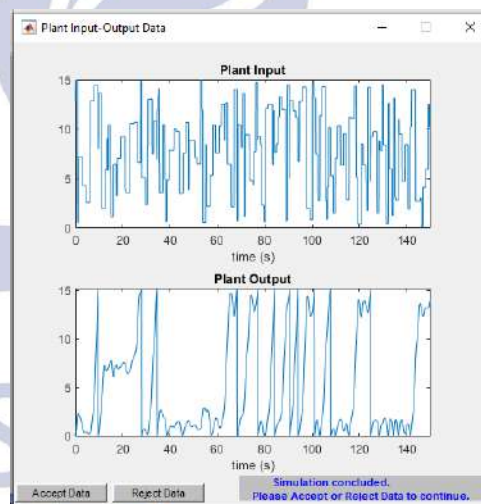
Gambar 17. Pengujian Menggunakan Metode Neural Network
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



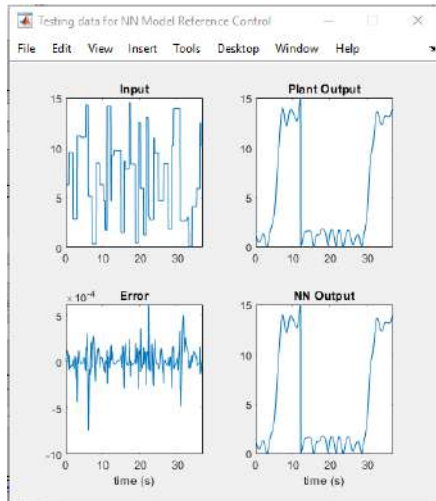
Gambar 16. Testing Data Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* dengan Metode *Neural Network*
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

Percobaan Ke-3

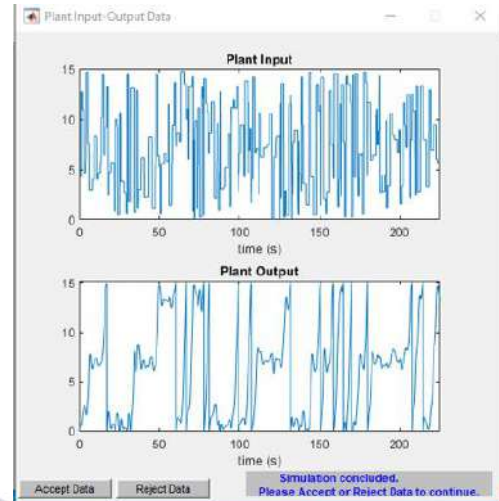
Pada percobaan ketiga menggunakan sebanyak 3000 nilai sampel. *Plant* adalah sistem yang menggunakan metode *Neural Network*, untuk *input* adalah sampel, kemudian grafik *output* adalah keluaran dari *plant*, untuk *error* merupakan selisih perbandingan dari *output* terhadap *input*.



Gambar 18. Grafik Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* pada Pengujian menggunakan *Neural Network Controller*
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



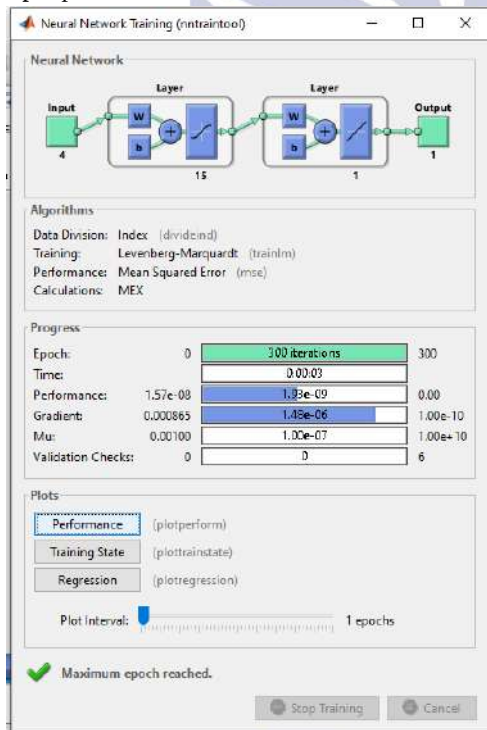
Gambar 19. Testing Data Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* dengan Metode *Neural Network* (Sumber: Data Pribadi, 2021)



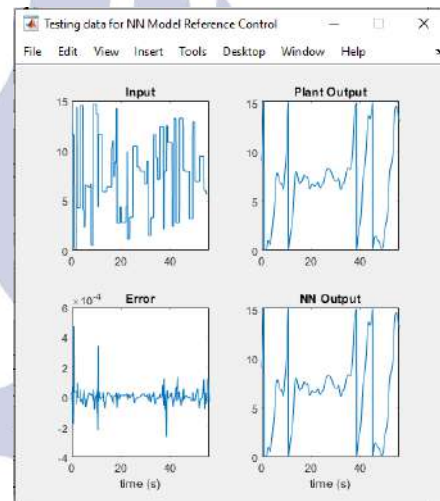
Gambar 21. Grafik Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* pada Pengujian menggunakan *Neural Network Controller* (Sumber: Data Pribadi, 2021)

Percobaan Ke-4

Pada percobaan keempat menggunakan sebanyak 4500 nilai sampel. Plant adalah sistem yang menggunakan metode *Neural Network*, untuk *input* adalah sampel, kemudian grafik *output* adalah keluaran dari plant, untuk *error* merupakan selisih perbandingan dari *output* terhadap *input*.



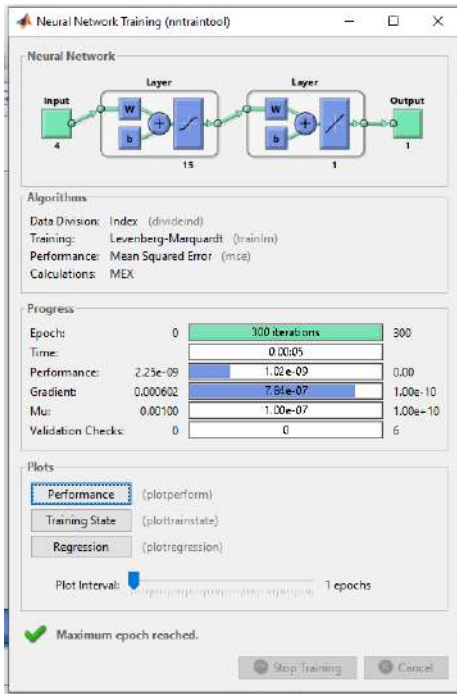
Gambar 20. Pengujian Menggunakan Metode *Neural Network* (Sumber: Data Pribadi, 2021)



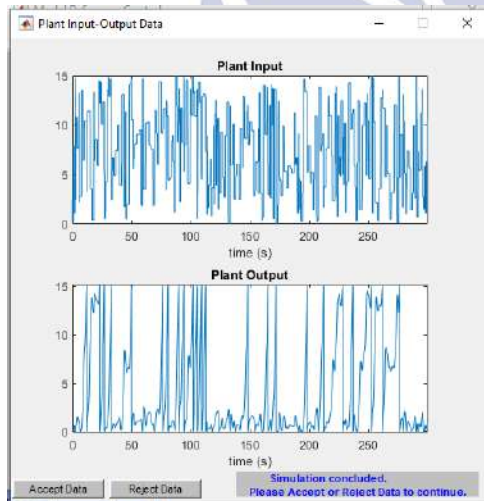
Gambar 22. Testing Data Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* dengan Metode *Neural Network* (Sumber: Data Pribadi, 2021)

Percobaan Ke-5

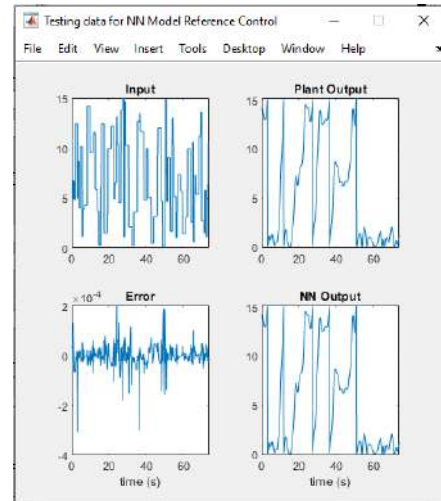
Pada percobaan kelima menggunakan sebanyak 6000 nilai sampel. Plant adalah sistem yang menggunakan metode *Neural Network*, untuk *input* adalah sampel, kemudian grafik *output* adalah keluaran dari plant, untuk *error* merupakan selisih perbandingan dari *output* terhadap *input*.



Gambar 23. Pengujian Menggunakan Metode Neural Network
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



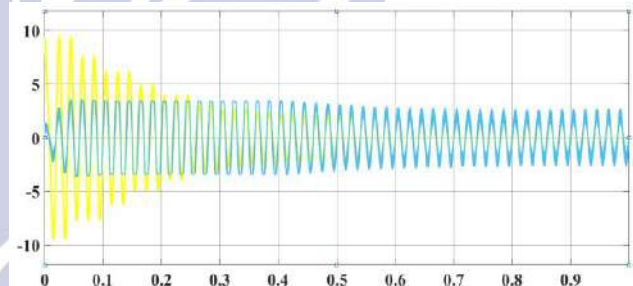
Gambar 24. Grafik Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* pada Pengujian menggunakan *Neural Network Controller*
(Sumber: Data Pribadi, 2021)



Gambar 25. Testing Data Gelombang Tegangan untuk *Plant Input* dan *Output* dengan Metode Neural Network
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

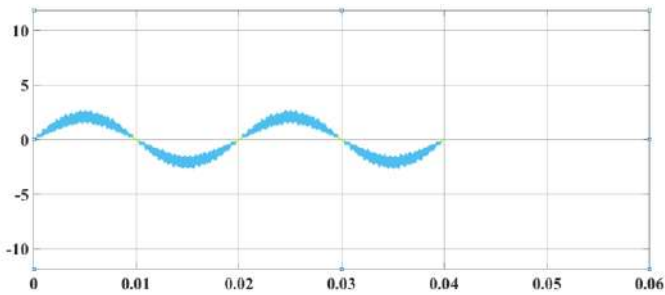
Hasil Gelombang Tegangan Keluaran Inverter Metode Neural Network

Berikut adalah bentuk gelombang yang dihasilkan dari Inverter tanpa beban setelah mendapatkan perhitungan dengan metode *Neural Network*.



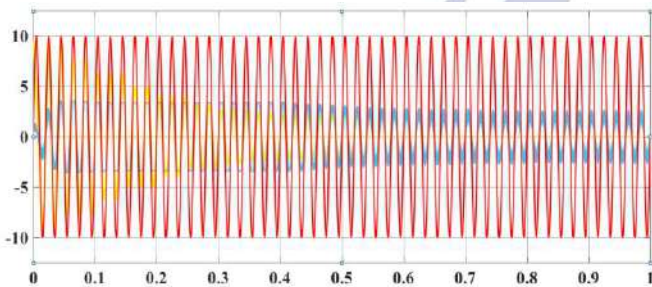
Gambar 26. Bentuk Gelombang Tegangan yang dihasilkan *Inverter* tanpa beban Metode Neural Network
(Sumber: Data Pribadi, 2021)

Gelombang berwarna kuning merupakan gelombang sinus yang menjadi referensi terhadap gelombang yang akan dihasilkan oleh *inverter*. Gelombang berwarna biru adalah gelombang hasil dari tegangan keluaran *inverter*. Gelombang berwarna kuning berada pada garis yang cenderung turun. Semakin bertambahnya waktu, gelombang berwarna biru semakin mendekati gelombang berwarna kuning. Artinya tegangan keluaran inverter semakin mendekati tegangan referensi. Kedua gelombang bertemu pada waktu (t) antara 0,5 – 0,6 sekon dengan panjang gelombang (λ) ke-27. Setelah waktu 0,5 sekon terlihat bahwa tegangan keluaran inverter berada pada amplitudo di atas tegangan referensi, kemudian baru berada pada amplitudo yang sama dengan tegangan referensi.



Gambar 27. Bentuk Gelombang Tegangan yang dihasilkan Inverter tanpa beban Metode Neural Network (Sumber: Data Pribadi, 2021)

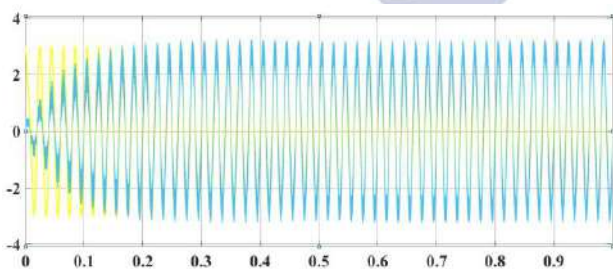
Sedangkan pada Gambar 27, untuk gelombang yang berwarna merah adalah gelombang referensi yang berasal dari sumber lain sebagai pembanding, yaitu dari listrik PLN.



Gambar 28. Bentuk Gelombang Tegangan yang dihasilkan Inverter tanpa beban Metode Neural Network (Sumber: Data Pribadi, 2021)

Hasil Gelombang Tegangan Keluaran Inverter Tanpa Metode

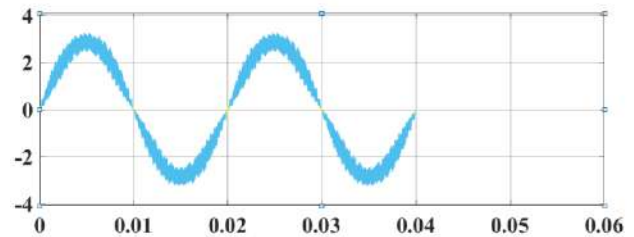
Berikut adalah bentuk gelombang yang dihasilkan dari Inverter tanpa beban jika disimulasikan tanpa menggunakan metode *Neural Network*.



Gambar 29. Bentuk Gelombang Tegangan yang dihasilkan Inverter tanpa beban (Sumber: Data Pribadi, 2021)

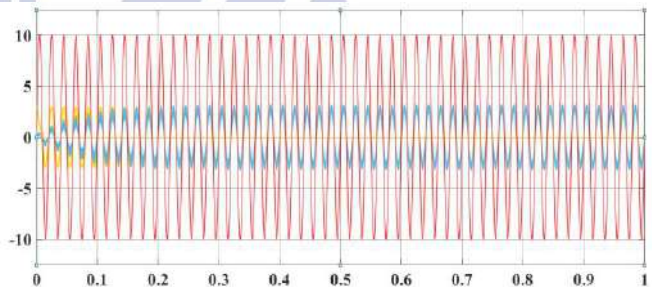
Gelombang berwarna kuning merupakan gelombang sinus yang menjadi referensi terhadap gelombang yang akan dihasilkan oleh *inverter*. Gelombang berwarna biru adalah gelombang hasil dari tegangan keluaran *inverter*. Gelombang berwarna kuning berada pada garis yang stabil, yaitu amplitudo ke-4. Semakin bertambahnya waktu, gelombang berwarna biru semakin mendekati gelombang berwarna kuning. Artinya tegangan keluaran

inverter semakin mendekati tegangan referensi. Kedua gelombang bertemu pada waktu (t) antara 0,1 – 0,2 sekon dengan panjang gelombang (λ) ke-9. Setelah waktu 0,2 sekon terlihat bahwa tegangan keluaran inverter berada pada amplitudo yang sama dengan tegangan referensi.



Gambar 30. Bentuk Gelombang Tegangan yang dihasilkan Inverter tanpa beban (Sumber: Data Pribadi, 2021)

Sedangkan pada Gambar 30, untuk gelombang yang berwarna merah adalah gelombang referensi yang berasal dari sumber lain sebagai pembanding, yaitu dari listrik PLN.



Gambar 31. Bentuk Gelombang Tegangan yang dihasilkan Inverter tanpa beban (Sumber: Data Pribadi, 2021)

Hasil Perhitungan dan Pengujian

Berikut data hasil perhitungan dan pengujian dengan metode *Neural Network*.

Tabel 4 Data Hasil Perhitungan dan Pengujian

Percobaan	Parameter Indikator NN		Hasil Percobaan		
	Jumlah Sampel	Jumlah Layer	Teg. Input	Teg. Output Inverter	Teg. Output metode NN
1	500	4	13.8 V	14.0 V	14.1 V
2	1500	4	13.2 V	12.9 V	13.2 V
3	3000	4	12.9 V	13.8 V	14.0 V
4	4500	4	13.0 V	14.8 V	14.9 V
5	6000	4	12.9 V	13.5 V	13.8 V

Berdasarkan perhitungan dan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan pada *Plant Output* yang diperoleh dari percobaan yang menggunakan metode *Neural Network* memiliki rata-rata 14 V, sedangkan pada *Plant Output* yang keluar dari Inverter memiliki rata-rata 13,8 V. Sehingga penggunaan metode NN lebih optimal dan lebih baik.

Hasil *error* dari pengujian berupa nilai *Mean Average Percentage Error* (MAPE), didapatkan hasil sebagai berikut

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

$$MAPE = \frac{0.073887}{5} \times 100\%$$

$$MAPE = 1.47741\% \text{ atau } 1.48\%$$

Nilai MAPE 1.48% merupakan kemampuan yang baik, karena nilai tersebut berada di bawah nilai 10% dimana rentang nilai tersebut termasuk ke dalam kategori permodelan yang baik, sehingga bisa dikatakan bahwa penggunaan metode *Neural Network* cukup optimal [11].

V. PENUTUP

Simpulan

Setelah dilakukan simulasi inverter pada *Design Smart Off Grid Photovoltaic System* menggunakan metode *Neural Network* pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa

1. Semakin banyak nilai sampel pada penggunaan metode *Neural Network* yang digunakan untuk simulasi, maka diperoleh hasil yang semakin optimal. Penambahan optimasi dapat menghasilkan nilai yang lebih baik, akan tetapi disertai dengan penambahan waktu komputasi yang cukup signifikan.
2. Nilai tegangan yang diperoleh dari percobaan yang menggunakan metode *Neural Network* memiliki rata-rata 14 V, sedangkan yang keluar dari *Inverter* memiliki rata-rata 13,8 V. Sehingga penggunaan metode *Neural Network* lebih optimal dan lebih baik.
3. Didapatkan hasil nilai MAPE sebesar 1.48% dimana nilai tersebut merupakan kemampuan yang baik sehingga bisa dikatakan bahwa penggunaan metode *Neural Network* cukup optimal.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan penambahan waktu komputasi dengan menggunakan metode yang berbeda, misalnya *Fuzzy Logic*, *Particle Swarm Optimazion*, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buku Statistik PLN 2019. Laporan Tahunan Perusahaan. PLN. Jakarta 2019.
- [2] Prasetyo, Bayu. *Desain dan Implementasi Photovoltaic Single Stage Inverter dengan Maximum Power Point Tracking Berbasis Artificial Neural Network Terhubung ke Sistem Jala-Jala*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 2018.
- [3] Dewantoro, Yusuf, Mochammad Facta, dan Iwan Setiawan. *Desain dan Implementasi Voltage-Source Inverter Tiga Fase Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM) Dengan DSPIC30F4011*. Jurnal Teknik Elektro: E-ISSN 2407-6422, 81. Universitas Diponegoro. Semarang. 2017.
- [4] Srinath, Velide, ManMohan Agarwal, dan Devendra Kumar Chatuvedi. *Design and Simulation of a Single-Phase SHEPWM Inverter-Fed Induction Motor Drive Using Generalized Hopfield Neural Network*. Journal: doi 10.1007/978-981-15-0029-9. 2019.
- [5] Indana, Ghifery, Azmi Saleh, dan Andi Setiawan. *Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) Grid-Tied dengan Metode Neural Network*. Jurnal Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa. Universitas Jember. Jember. 2014.
- [6] Himawan, Bondan, dan Taufiq Hidayat. *Perancangan Host-Based Intrusion Detection System Berbasis Artificial Neural Network*. Jurnal Teknik Informatika: ISSN 1907-50-22. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 2007.
- [7] Hutajulu, Nico Ronaldi, dan Setia Gunawan. *Studi Pemanfaatan Pembangkitan Listrik Tenaga Surya Interkoneksi dengan Sumber Listrik Utama pada Gedung Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Jakarta*. Jurnal Teknik Elektro Vol 2 Nomor 2 EISSN: 2502-8464. Universitas 17 Agustus 1945. Jakarta. 2018.
- [8] Majid, Abdul, Eliza, dan Redy Hardiansyah. *Alat Automatic Transfer Switch (ATS) Sebagai Sistem Kelistrikan Hybrid Sel Surya Pada Rumah Tangga*. Jurnal Teknik Elektro Vol 2 Nomor 2. UM Palembang. Palembang. 2018.
- [9] Izzah, Aqidatul. *Rancang Bangun dan Analisis Inverter Full Bridge 1 Fasa dengan Berbagai Variasi Input Menggunakan SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 2017.
- [10] Widodo, Aris Puji, dkk. *Akurasi Model Prediksi Metode Backpropagation Menggunakan Kombinasi Hidden Neuron dengan Alpha*. Jurnal Ilmu Komputer Vol 20, Nomor 2. Universitas Diponegoro. Semarang. 2017.
- [11] Maricar, M. Azman, dan Dian Pramana. *Perbandingan Akurasi Naïve Bayes dan K-Nearest Neighbor pada Klasifikasi untuk Meramalkan Status Pekerjaan Alumni ITB STIKOM Bali*. Jurnal Sistem dan Informatika. ITB STIKOM. Bali. 2019.