

# Desain Sistem Informasi Cerdas pada Smart Grid Berbasis *Internet of Things dan Artificial Neural Network*

<sup>1</sup>Muhammad Ridwan Arif Cahyono, <sup>2</sup>Surya Wirawan

<sup>1,2</sup>Politeknik Gajah Tunggal, Indonesia

<sup>1</sup>[ridwan@poltek-gt.ac.id](mailto:ridwan@poltek-gt.ac.id); <sup>2</sup>[surya@poltek-gt.ac.id](mailto:surya@poltek-gt.ac.id)

## Article Info

### Article history:

Received, 15-12-2020

Revised, 28-12-2020

Accepted, 03-01-2021

### Kata Kunci:

*smart grid*  
*Internet of Things*  
*Artificial Neural Network*  
aplikasi android

### Keywords:

*smart grid*  
*Internet of Things*  
*Artificial Neural Network*  
android application

## ABSTRAK

*Smart grid* merupakan sistem kelistrikan yang memungkinkan pengguna untuk melakukan proses menjual dan membeli daya listrik. Pada penelitian ini dirancang model *smart grid* dengan sumber daya dari listrik PLN dan panel surya yang terhubung dengan beban. Beban yang digunakan memiliki daya maksimal 40 W dan panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 100 Wp. ESP32 digunakan sebagai perangkat *Internet of Things*, yang digunakan sebagai pengukur dan pengontrol daya listrik yang akan dijual atau dibeli. Raspberry Pi digunakan sebagai *web server* pengolah data dari *smart grid*. Aplikasi "Smart Grid Dikti" merupakan aplikasi berbasis android yang dapat digunakan untuk melakukan pemantauan serta pengaturan dalam sistem *smart grid* tersebut. Aplikasi android tersebut telah diuji coba dengan metode *Black Box*, dengan hasil pengujian 100% berhasil. Kecerdasan buatan berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) dengan metode *backpropagation* diimplementasikan dalam sistem *smart grid* yang berfungsi sebagai pengaturan otomatis dalam proses jual dan beli daya listrik. ANN yang digunakan memiliki 3 input, 2 layer neuron, 3 output, dan masing-masing layer memiliki 4 neuron yang diimplementasikan ke dalam bahasa Python. Setelah pelatihan sebanyak 11.000 kali, didapatkan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,12151 dan pada saat uji coba didapatkan RMSE sebesar 0,10500 dengan akurasi rata-rata sebesar 89,50%.

## ABSTRACT

Smart grid is an electrical system that allows users to carry out selling and buying electricity. In this paper, the smart grid model was designed with the power source of PLN electricity and solar panel connected to the load. The load has a maximum power of 40 W, and the solar panel capacity is 100 Wp. The ESP32 is used as an Internet of Things device, which is used as a smart meter and controller for electric power for sale or purchase. Raspberry Pi is used as a web server for processing data from the smart grid system. The "Smart Grid Dikti" apps are an android-based application that can monitor and manage the smart grid system. This android application has been tested using the Black Box method, with the test results being 100% successful. Artificial intelligence based on Artificial Neural Network (ANN) with the backpropagation method is implemented in the smart grid system that functions as an automatic setting to buy and sell the electricity. The ANN model has three inputs, two neuron layers, three outputs, and each layer has four neurons, which are implemented in the python language. After 11,000 training times, a Root Mean Square Error (RMSE) was obtained of 0.12151, and the testing result, an RMSE was obtained of 0.10500 with an average accuracy of 89.50%.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) license.



### Penulis Korespondensi:

Muhammad Ridwan Arif Cahyono,  
Program Studi Teknik Elektronika,  
Politeknik Gajah Tunggal,  
Email: [ridwan@poltek-gt.ac.id](mailto:ridwan@poltek-gt.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

*Smart grid* merupakan sistem kelistrikan masa depan dengan kehandalan yang lebih baik, dimana di beberapa negara sudah menerapkan sistem ini. Dengan *smart grid*, masyarakat dapat menggunakan sendiri, menyimpan, dan menjual listrik yang dihasilkan ke produsen jika memiliki pembangkit listrik sendiri berupa panel surya [1].

Beberapa negara telah mengembangkan *smart grid* ini dengan cukup cepat. Jerman adalah salah satu negara dengan model *smart grid* yang sangat sukses. Selain di Jerman, banyak negara-negara telah menerapkan teknologi ini, seperti Amerika Serikat sejak tahun 2007 melalui *Federal of Energy*, Kanada sejak tahun 2009 dengan mengoptimalkan potensi solar sel, negara-negara di eropa pada 2011 dan tak ketinggalan negara-negara asia maju seperti Tiongkok, Jepang, dan Korea Selatan. Masih disayangkan teknologi ini belum diterapkan di Indonesia.

Di Indonesia, implementasi sistem *smart grid* masih kurang. Beberapa penelitian tentang *hardware* dalam *smart grid* sudah banyak dilakukan, namun penelitian mengenai *interface* untuk mengendalikan sistem *smart grid* ini masih sedikit dan masih sebatas pada pemantauan, mengatur, dan menjadwalkan konsumsi energi saja. Padahal salah satu fitur utama dalam *smart grid* yaitu proses menjual dan membeli daya listrik.

Selain memberikan kemudahan dalam hal konsumsi listrik, penggunaan sistem *smart grid* juga mudah. Ke depan, sistem *smart grid* dapat dikontrol menggunakan perangkat *mobile* atau *smartphone*. Dengan menggunakan perangkat *mobile*, pengguna juga dapat mengakses statistik konsumsi energi dan mengontrol daya listrik rumah tangga dengan jarak jauh [2].

Penelitian mengenai arsitektur *smart grid* sudah dilakukan sebelumnya, pada penelitian tersebut bertujuan untuk mengungkapkan secara jelas tentang arsitektur *smart grid* dan jenis metode komunikasi apa yang digunakan [3]. Penelitian tentang *interface* untuk *smart grid* sudah dilakukan, tetapi masih terbatas pada penggunaan data statik, belum diimplementasikan pada sistem yang sudah ada. Selain itu, program hanya berfokus pada desain *user interface*. Belum ada kecerdasan buatan yang diimplementasikan pada desain tersebut [4]. Arah penelitian tersebut hanya pada metode teknis proses sistem *smart grid* agar dapat dilakukan pemantauan, pengaturan, dan penjadwalan konsumsi energi menggunakan aplikasi *mobile* saja, sedangkan untuk proses menjual dan membeli daya listrik belum ada. Padahal, proses ini merupakan salah satu keunggulan dari *smart grid*.

Penelitian mengenai konfigurasi *smart grid* dengan *Internet of Thing* (IoT) sudah dilakukan sebelumnya [5]. Pada penelitian tersebut, membahas tentang protokol komunikasi IoT dalam sistem *smart grid*. Konfigurasi *hardware* ini meliputi aspek daya listrik, komunikasi, data, *real time* alarm, biaya dan perawatan [6]. Konfigurasi *hardware* ini akan diimplementasikan pada penelitian ini dengan mengimplementasikan sistem kecerdasan buatan. Saat ini, penelitian mengenai implementasi kecerdasan buatan dalam sistem *smart grid* masih sebatas kajian teoritis [7]–[9]. Pengembangan model IoT untuk *smart grid* lainnya yaitu menggunakan perangkat android sebagai *smart meter*, dimana proses analisa data menggunakan bahasa Python [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut pada penelitian ini akan dikembangkan dan dirancang model *smart grid* dengan sumber daya dari listrik PLN dan panel surya, yang dapat dikendalikan melalui aplikasi *smartphone* android dengan mengimplementasikan kecerdasan buatan berbasis *Artificial Neural Network* dengan menerapkan metode *backpropagation*. Kecerdasan buatan digunakan untuk menentukan mode operasi dari sistem *smart grid*.

## 2. METODE PENELITIAN

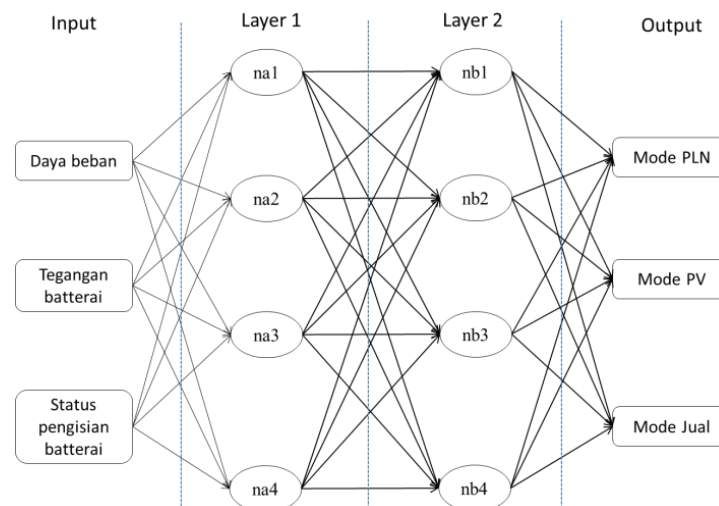
Metode pada penelitian ini diawali dengan merancang alat berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk menyimpan data-data yang dihasilkan oleh sensor daya PZEM004T. Sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pembaca nilai output dan mengirimkan data tersebut ke database melalui jaringan internet. Perangkat IoT tersebut, digunakan sebagai pengukur daya listrik dari sumber panel surya dan listrik PLN, serta sebagai *relay* otomatis. Database yang digunakan adalah MySQL yang ditanamkan pada Raspberry Pi yang difungsikan sebagai *web server*. Penelitian ini masih sebatas purwarupa sistem *smart grid* dengan panel surya 100 Wp sebagai sumber pembangkit listrik dan dengan beban maksimal 40 Watt. Penggunaan Raspberry Pi tidak hanya sebagai penyimpanan data akan tetapi juga sebagai pengolah dan pemrosesan data-data yang diterima. Pengolahan tersebut melibatkan *Artificial Neural Network* (ANN). Hasil pengolahan ANN akan menghasilkan rekomendasi parameter yang dibutuhkan yang dapat dilihat serta diatur melalui *smartphone*.

Dalam proses pemantauan dan pengendalian sistem *smart grid*, dibangun aplikasi android yang dapat digunakan pengguna secara *realtime*. Pada aplikasi tersebut juga akan dilaporkan penggunaan energi listrik, sehingga dapat termonitor dengan baik. Mode operasi dari sistem *smart grid*, dapat dilakukan secara manual, maupun secara otomatis berdasarkan pengolahan ANN. Mode operasi tersebut yaitu : mode sumber listrik beban dari PLN, sumber listrik dari panel surya, dan mode jual listrik. Secara detail langkah-langkah dalam penelitian ini yang melibatkan konsep *Artificial Neural Network* (ANN) dan aplikasi *smart grid* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai berikut :

## 2.1 Artificial Neural Network

Salah satu bentuk sistem kecerdasan buatan yang sudah dikembangkan yaitu *Artificial Neural Network* (ANN). ANN merupakan model kecerdasan buatan yang dikembangkan menyerupai otak manusia. ANN terdiri dari beberapa prosesor yang disebut *neuron*. *Neuron* terhubung dengan pembobotan (*weight*) melewati sinyal dari neuron satu ke *neuron* yang lain. ANN mampu mengklasifikasikan sinyal masukan yang sedikit berbeda dari yang pernah diterima sebelumnya. Model neuron ANN secara umum terdiri dari komponen masukan (*input*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan keluaran (*output*) [11]–[13].

Sistem kecerdasan buatan yang dikembangkan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode ANN dengan *backpropagation* (BP). Metode ini dipilih untuk mengurasi tingkat kesalahan, sehingga hasil keluaran lebih akurat. Dalam penelitian ini dikembangkan ANN dengan 3 input, 2 *hidden layer*, dan 3 output sebagaimana pada Gambar 1. Input ANN yang digunakan berupa daya beban, tegangan baterai, dan status pengisian baterai. Sedangkan untuk keluaran berupa mode PLN (membeli listrik), mode PV (panel surya), dan mode jual.



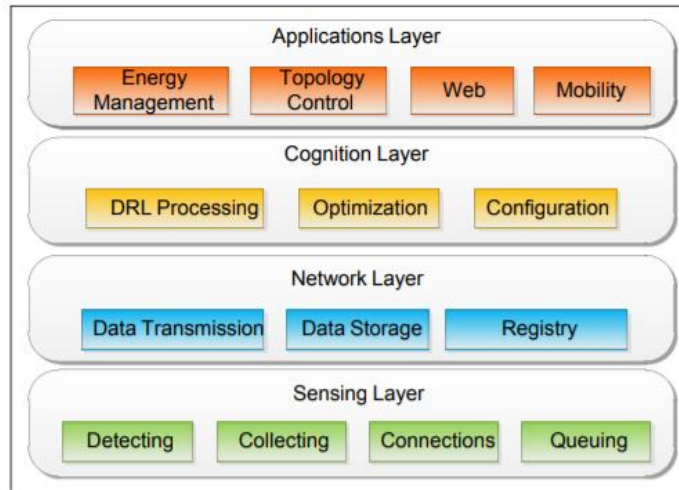
Gambar 1. Model sistem ANN yang dikembangkan

Cara kerja dari sistem ANN adalah mengolah informasi yang masuk (*input*) kemudian data tersebut dikirim ke *neuron* dengan bobot tertentu dan selanjutnya diproses oleh suatu fungsi yang akan menjumlahkan nilai-nilai bobot yang ada. Hasil dari penjumlahan tersebut akan dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi pada setiap *neuron*. Jika input melewati suatu nilai ambang tertentu, maka *neuron* akan diaktifkan, jika tidak, maka *neuron* tidak akan diaktifkan. *Neuron* yang diaktifkan akan mengirimkan output melalui bobot-bobot outputnya ke semua *neuron* yang berhubungan dengannya [11].

## 2.2 Aplikasi “Smart Grid Dikti”

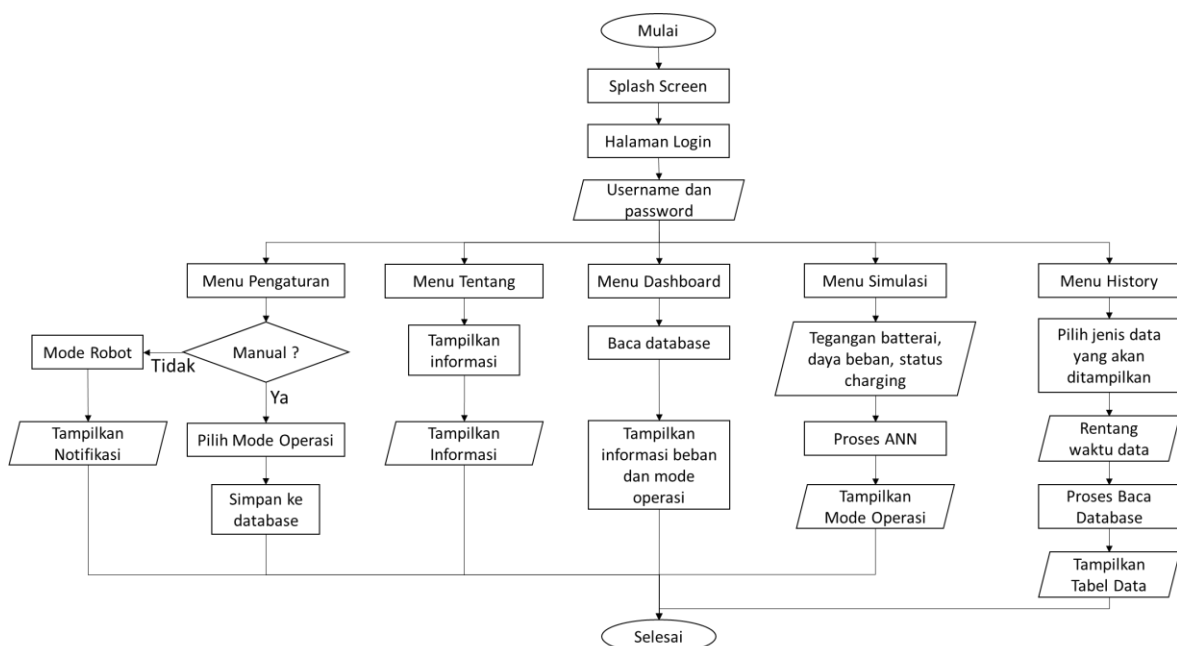
Aplikasi “*Smart Grid Dikti*” merupakan aplikasi android yang dikembangkan menggunakan APPInventor V2. Aplikasi ini berfungsi sebagai *application layer* untuk menunjang sistem *Internet of Things* (IoT) yang dibangun. IoT adalah struktur di mana suatu objek dengan kemampuan untuk memindahkan data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi dua arah antara manusia ke manusia, sumber ke tujuan, ataupun interaksi manusia ke komputer [14], [15]. *Internet of Things* dikembangkan menggunakan beberapa teknologi yang secara umum di gabungkan menjadi satu kesatuan, yang meliputi sensor sebagai pembaca data, koneksi internet sebagai media komunikasi data, *radio frequency identification* (RFID), *wireless sensor network* dan teknologi yang terus akan bertambah sesuai dengan kebutuhan. Konsep IoT ini secara sederhana terdiri dari 4 lapisan diantaranya lapisan aplikasi, lapisan pengetahuan, lapisan jaringan, dan lapisan sensor seperti ditunjukkan pada

Gambar 2 [16]–[18]. Pada lapisan sensor digunakan sensor PZEM004T, pada lapisan jaringan digunakan media internet, pada lapisan pengetahuan dikembangkan sistem ANN, dan pada lapisan aplikasi dikembangkan aplikasi “*Smart Grid Dikti*”. Metode perancangan aplikasi ini menggunakan metode *Waterfall*, dalam penerapannya didefinisikan dahulu kebutuhan sistem berupa *flow chart* dari aplikasi dan database yang akan digunakan, serta rancangan desain antarmuka yang akan dikembangkan. Database yang digunakan terintegrasi dengan database pada sensor yang sudah dikembangkan sebelumnya.



Gambar 2. Cara kerja IoT [16]

Aplikasi “*Smart Grid Dikti*” dibangun berdasarkan *flow chart* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Terdapat beberapa menu diantaranya, menu login, menu pengaturan, menu tentang, menu *dashboard*, menu simulasi, dan menu *history*. Menu login berfungsi untuk melakukan autentikasi pengguna, hanya pengguna yang terdaftar yang dapat menggunakan aplikasi. Menu *dashboard*, merupakan menu utama yang berfungsi sebagai menu untuk pemantauan semua fungsi dari sistem *smart grid*. Menu pengaturan berfungsi untuk memilih mode operasi secara otomatis ataupun secara manual. Menu simulasi dapat digunakan pengguna untuk mendapatkan gambaran operasi sistem *smart grid* berdasarkan rekomendasi dari sistem ANN, sedangkan menu tentang berfungsi menampilkan informasi tentang developer aplikasi.



Gambar 3. *Flow chart* sederhana program android yang dikembangkan

Aplikasi “*Smart Grid Dikti*” menggunakan database MySQL yang disimpan dalam *web server* dalam Raspberry Pi. Beberapa tabel database yang digunakan ditunjukkan seperti pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1 menunjukkan data penggunaan komponen listrik untuk setiap mode operasi. Data ini diambil dari *smart watt meter* yang digunakan untuk memonitor dan mengendalikan penggunaan energi listrik. Alat ini mampu untuk mengukur tegangan (volt), arus (ampere), daya (watt), energi (wh), frekuensi (Hz), dan faktor daya. Pada Tabel 2, digunakan untuk menyimpan hasil pengukuran parameter baterai, diantaranya berupa tegangan, arus, dan status pengisian baterai. Data-data disimpan ke dalam database setiap detik. Pada Tabel 3 digunakan untuk pengolahan sistem ANN, dengan masukan berupa daya beban, tegangan baterai, status pengisian baterai dan keluaran berupa mode operasi sistem.

Tabel 1. Komponen Database Tabel Power

| Nama Field | Type      | Keterangan               |
|------------|-----------|--------------------------|
| id         | Int       | No urut data             |
| komponen   | Text      | Jenis Mode               |
| volt       | Double    | Tegangan (V)             |
| current    | Double    | Arus (A)                 |
| power      | Double    | Daya (W)                 |
| energy     | Double    | Energi (Wh)              |
| frequency  | Double    | Frekuensi (Hz)           |
| pf         | Double    | Faktor Daya              |
| waktu      | Timestamp | Tanggal penyimpanan data |

Tabel 2. Komponen Database Tabel Baterai

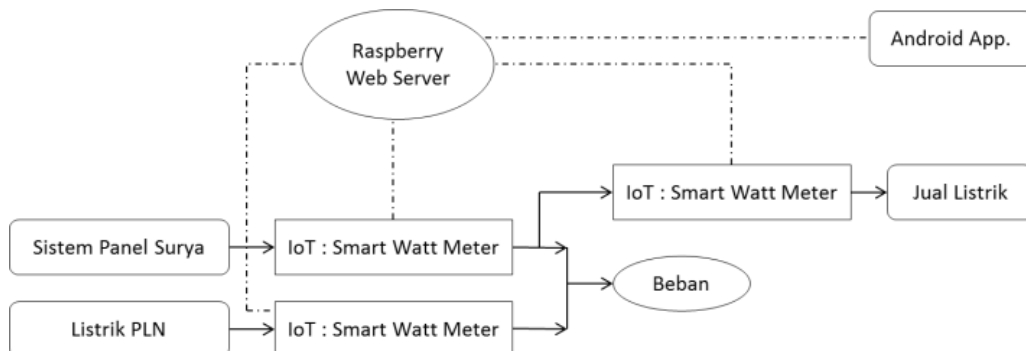
| Nama Field | Type      | Keterangan                |
|------------|-----------|---------------------------|
| id         | Int       | No urut data              |
| volt       | Double    | Tegangan                  |
| current    | Double    | Arus (A)                  |
| charge     | Int       | Status pengisian batterai |
| waktu      | Timestamp | Tanggal penyimpanan data  |

Tabel 3. Komponen Database Tabel ANN

| Nama Field | Type   | Keterangan                  |
|------------|--------|-----------------------------|
| id         | Int    | No urut data                |
| tegangan   | Double | Tegangan (V)                |
| daya       | Double | Daya (W)                    |
| charger    | Int    | Status pengisian batterai   |
| pln        | Int    | Status mode sumber dari PLN |
| pv         | Int    | Status mode sumber dari PV  |
| jual       | Int    | Status mode jual listrik    |

### 3. HASIL DAN ANALISIS

Konfigurasi sistem *smart grid* secara umum digambarkan pada Gambar 4. Sebelum terhubung ke beban, pada sistem panel surya maupun jaringan listrik PLN terhubung ke *Smart Watt Meter*. Alat ini dibangun menggunakan perangkat ESP32, dimana sudah terdapat modul wifi didalamnya. Alat ini berfungsi untuk mengukur daya dan menyimpan ke dalam database. Data disimpan secara otomatis setiap 1 (satu) menit. Selain itu pada alat ini juga terdapat *relay* yang berfungsi menghubungkan atau memutus aliran listrik. *Relay* ini didasarkan pada data dalam database. Dalam artikel ini, konfigurasi sistem *smart grid* tidak dibahas secara mendetail, karena difokuskan pada sistem kecerdasan buatan berbasis ANN dan aplikasi mobile berbasis android. Seperti pada Gambar 4, Aplikasi android membaca data yang tersimpan dalam *web server* yang dibangun dari Raspberry Pi. Data tersebut berasal dari *Smart Watt Meter*.



Gambar 4. Konfigurasi sistem *smart grid*



Pada Tabel 4 dijelaskan komponen detail dalam sistem panel surya. Dalam sistem tersebut digunakan inverter, karena beban yang digunakan merupakan beban tipe AC sebagaimana pada Tabel 5, sehingga diperlukan inverter untuk mengubah dari tegangan AC ke tegangan DC. Pada penelitian ini, konfigurasi sistem *smart grid* digunakan sebagai penunjang pengambilan data untuk membangun sistem kecerdasan buatan dan aplikasi untuk memonitor dan mengendalikan berbasis android.

Tabel 4. Komponen Pada Sistem Panel Surya

| Komponen            | Spesifikasi |
|---------------------|-------------|
| Panel Surya         | 100 Wp      |
| Batterai Deep Cycle | 12 V @ 33Ah |
| Inverter            | 300 W       |
| Kontroller          |             |

Tabel 5. Karakteristik Beban

| Jenis Beban    | Daya | Waktu Operasi |
|----------------|------|---------------|
| Lampu          | 10 W | 18.00-05.00   |
| CCTV           | 5 W  | 24 jam        |
| Pompa Aquarium | 25 W | 24 jam        |

### 3.1 Sistem ANN (*Artificial Neural Network*)

Sistem ANN yang dibangun memiliki input data berupa daya beban, tegangan baterai dan status pengisian baterai sebagaimana pada Tabel 6. Nilai daya beban yang bervariasi antara 0 s/d 40 W, nilai maksimum tersebut didasarkan pada beban maksimal sesuai Tabel 5 yaitu sebesar 40 W. Untuk parameter tegangan baterai, nilai minimal dan maksimal mengikuti parameter yang digunakan pada alat kontroller yang digunakan pada sistem tersebut. Sedangkan status pengisian baterai digunakan untuk menunjukkan apakah baterai tersebut sedang dalam proses pengisian (kode = 1), ataupun dalam kondisi tidak dalam pengisian (kode = 0).

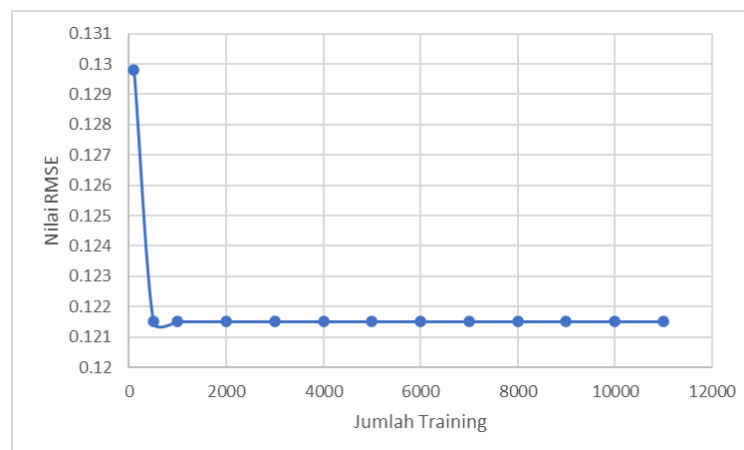
Tabel 6. Parameter Untuk Masukan ANN

| Komponen Input           | Rentang Nilai  |
|--------------------------|----------------|
| Daya beban               | 0 s/d 40 Watt  |
| Tegangan baterai         | 11 s/d 13 Volt |
| Status pengisian baterai | 0 atau 1       |

Tabel 7. Parameter Untuk Keluaran ANN

| Komponen Output | Rentang Nilai |
|-----------------|---------------|
| Mode PLN        | 0 atau 1      |
| Mode PV         | 0 atau 1      |
| Mode Jual       | 0 atau 1      |

Parameter keluaran dari ANN berupa mode operasi yang ditunjukkan pada Tabel 7. Terdapat 3 mode operasi yaitu mode PLN (mode membeli listrik), mode PV (sumber listrik dari panel surya), dan mode jual. Apabila data dalam database bernilai 0 (nol) artinya *relay* pada *Smart Watt Meter* tersebut dalam kondisi OFF dan sebaliknya apabila bernilai 1 (satu), artinya *relay* tersebut dalam kondisi ON.



Gambar 5. Perbandingan antara jumlah pelatihan (*training*) dengan Nilai RMSE

Dengan mengacu pada Gambar 1, dengan rentang data input sesuai dengan Tabel 6 dan nilai output sesuai dengan Tabel 7, sistem ANN telah berhasil dibangun dengan menggunakan bahasa python. Sistem ANN tersebut disimpan dalam *online web server* pada Raspberry Pi. Dalam penelitian ini, berusaha dicari titik pelatihan yang optimal untuk sistem ANN. Semakin banyak jumlah pelatihan yang digunakan, akan berpengaruh pada waktu proses pengolahan data. Parameter yang digunakan untuk melihat kesesuaian model yaitu dengan menggunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil pengujian variasi banyaknya pelatihan dengan nilai RMSE ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut, disimulasikan pelatihan sebanyak 11.000 kali. Hasilnya nilai RMSE terendah pada pelatihan sebanyak 215 kali, dengan nilai RMSE sebesar 0,12151. Jumlah pelatihan tersebut dipilih untuk digunakan dalam uji coba sistem ANN.

Hasil uji coba ANN dengan menggunakan data *random* ditunjukkan seperti pada Tabel 8. Pada Tabel 8 ditunjukkan bahwa nilai rata-rata RMSE sebesar 0,1050 dengan akurasi sebesar 89,50%. Hasil ini sudah mencukupi untuk digunakan sebagai penunjang pengambilan keputusan dalam sistem *Smart Grid* yang dikembangkan.

Tabel 8. Pengujian Sistem ANN

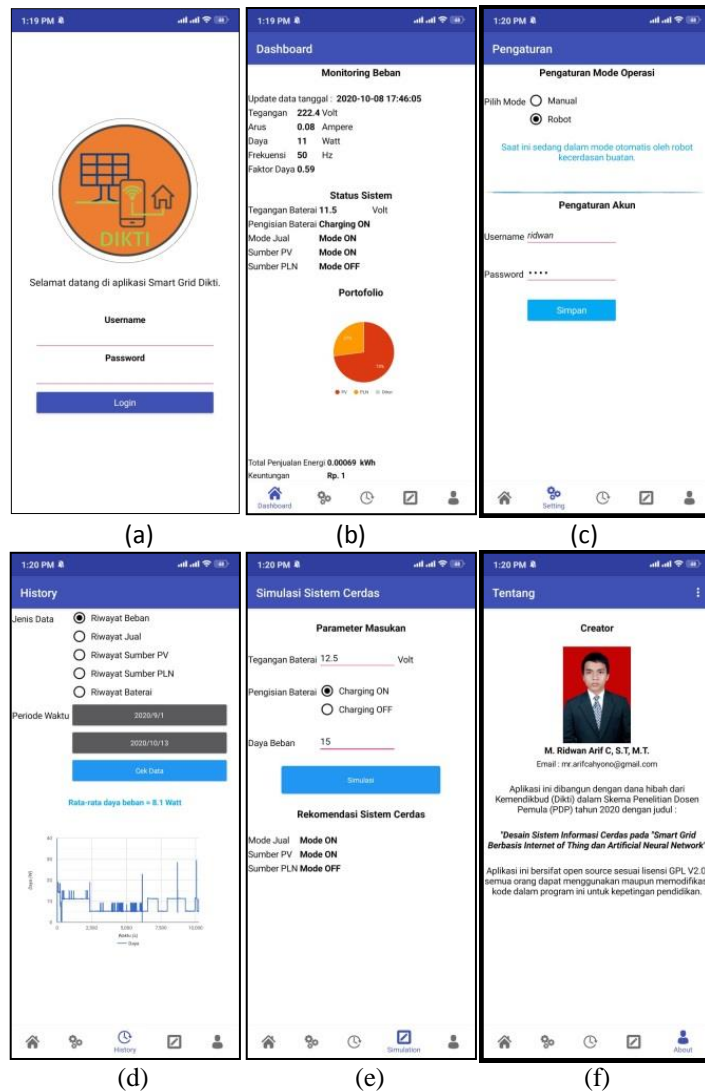
| Model Uji Data   | Nilai RMSE     | Akurasi        |
|------------------|----------------|----------------|
| 1                | 0.10018        | 89.982%        |
| 2                | 0.09622        | 90.378%        |
| 3                | 0.13225        | 86.775%        |
| 4                | 0.13713        | 86.287%        |
| 5                | 0.09880        | 90.120%        |
| 6                | 0.09476        | 90.524%        |
| 7                | 0.09547        | 90.453%        |
| 8                | 0.09947        | 90.053%        |
| 9                | 0.09982        | 90.018%        |
| 10               | 0.09584        | 90.416%        |
| <b>Rata-rata</b> | <b>0.10500</b> | <b>89.500%</b> |

### 3.2 Aplikasi “Smart Grid Dikti”

Aplikasi “*Smart Grid Dikti*” berhasil dibangun dengan menggunakan aplikasi APPInventor v2. Aplikasi ini berfungsi untuk melakukan pemantauan dan pengendalian pada sistem *smart grid* secara keseluruhan. Aplikasi ini berfungsi menampilkan data yang disimpan oleh alat *Smart Watt Meter* ke dalam database sebagaimana pada Tabel 1 dan menampilkan data dari pengukuran baterai yang sudah disimpan di database sesuai dengan Tabel 2. Selain itu, aplikasi juga digunakan untuk mengendalikan mode operasi serta menampilkan hasil rekomendasi sistem ANN yang disimpan dalam database sebagaimana pada Tabel 3.

Aplikasi “*Smart Grid Dikti*” dibangun berdasarkan *flow chart* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 6a merupakan tampilan antarmuka untuk halaman Login, pada Gambar 6b merupakan antarmuka untuk halaman Dashboard, dimana ditampilkan kondisi pengukuran beban, status sistem, dan persentase dalam bentuk *pie chart* perbandingan antara penjualan listrik, pembelian listrik dari PLN dan produksi listrik dari panel surya. Pada gambar 6c, merupakan halaman Pengaturan, dimana pengguna dapat memilih status operasi sistem dan mengganti *username* maupun *password*. Pada Gambar 7d merupakan halaman *History*, dimana pengguna dapat menampilkan data riwayat penggunaan beban, riwayat penjualan listrik, riwayat produksi listrik dari sistem panel surya, riwayat pembelian listrik dari PLN, dan riwayat tegangan baterai sesuai rentang waktu yang ditentukan. Pada Gambar 6e, merupakan halaman simulasi, apabila pengguna ingin mensimulasikan mode operasi yang diolah menggunakan sistem kecerdasan buatan yang dibangun sebelumnya. Pada Gambar 6f, menunjukkan informasi tentang pembuat program dan lisensi program.

Aplikasi “*Smart Grid Dikti*” tersebut sudah dilakukan pengujian verifikasi maupun validasi. Selain itu juga dilakukan pengujian dengan menggunakan metode *Black Box*. Metode *Black Box* diterapkan dengan memberikan berbagai skenario operasi maupun inputan data kepada aplikasi dan membandingkan dengan hasil keluaran. Hasil pengujian terhadap semua halaman aplikasi sesuai ditunjukkan pada Tabel 9, aplikasi yang dibangun sudah 100% beroperasi sesuai dengan kondisi seharusnya.



Gambar 6. Tampilan antar muka aplikasi android “Smart Grid Dikti”, a. Halaman login, b. Halaman dashboard, c. Halaman pengaturan, d. Halaman history, e. Halaman simulasi, f. Halaman tentang creator

Tabel 9. Pengujian Black Box Aplikasi

| Jenis Halaman    | Jumlah Jenis Pengujian | Keterangan         |
|------------------|------------------------|--------------------|
| Splash Screen    | 1                      | 100% sesuai        |
| Login            | 2                      | 100% sesuai        |
| Dashboard        | 1                      | 100% sesuai        |
| Setting          | 7                      | 100% sesuai        |
| History          | 5                      | 100% sesuai        |
| Simulasi         | 2                      | 100% sesuai        |
| Tentang          | 1                      | 100% sesuai        |
| <b>Rata-rata</b> |                        | <b>100% sesuai</b> |

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini berhasil dibangun aplikasi “Smart Grid Dikti”, aplikasi ini mampu melakukan pemantauan dan pengendalian sistem smart grid. Aplikasi ini dilengkapi dengan sistem kecerdasan buatan berbasis *Artificial Neural Network* (ANN) dengan 3 input, 2 layer neuron, 3 output, dan masing-masing layer memiliki 4 neuron yang diimplementasikan ke dalam bahasa python. Setelah pelatihan sebanyak 11.000 kali, didapatkan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 0,12151 dan pada saat uji coba didapatkan RMSE sebesar 0,10500 dengan akurasi rata-rata sebesar 89,50%. Sebagai catatan, penelitian ini masih sebatas *micro grid*, belum sepenuhnya *smart grid*. Selain itu, diharapkan pada penelitian selanjutnya perlu dikembangkan sistem ANN dengan variabel input yang lebih banyak.



**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kami haturkan kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional, Khususnya Deputy Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, yang telah mendanai penelitian ini dalam skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2020.

**REFERENSI**

- [1] I. Bagus, K. Sugirianta, and I. N. Sukarma, "Keandalan Sistem Smart Grid ( Literatur Review )," *J. Log.*, vol. 15, no. 2, pp. 63–68, 2015.
- [2] G. Lobaccaro, S. Carlucci, and E. Löfström, "A review of systems and technologies for smart homes and smart grids," *Energies*, vol. 9, no. 5, pp. 1–33, 2016, doi: 10.3390/en9050348.
- [3] Y. Kabalci and E. Kabalci, "Modeling and analysis of a smart grid monitoring system for renewable energy sources," *Sol. Energy*, vol. 153, pp. 262–275, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.05.063.
- [4] E. Susilo, F. D. Wijaya, and R. Hartanto, "Perancangan dan Evaluasi User Interface Aplikasi Smart Grid Berbasis Mobile Application," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 2, pp. 150–157, 2018, doi: 10.22146/jnteti.v7i2.416.
- [5] S. K. Viswanath *et al.*, "System design of the internet of things for residential smart grid," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 23, no. 5, pp. 90–98, 2016, doi: 10.1109/MWC.2016.7721747.
- [6] J. Lloret, J. Tomas, A. Canovas, and L. Parra, "An Integrated IoT Architecture for Smart Metering," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 12, pp. 50–57, 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.1600647CM.
- [7] B. K. Bose, "Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid and Renewable Energy Systems - Some Example Applications," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 11, pp. 2262–2273, 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2756596.
- [8] M. Q. Raza and A. Khosravi, "A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, no. June 2015, pp. 1352–1372, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.065.
- [9] S. Khan, D. Paul, P. Momtahan, and M. Aloqaily, "Artificial intelligence framework for smart city microgrids: State of the art, challenges, and opportunities," *2018 3rd Int. Conf. Fog Mob. Edge Comput. FMEC 2018*, no. June, pp. 283–288, 2018, doi: 10.1109/FMEC.2018.8364080.
- [10] N. Petrovic and Đ. Kocić, "Enabling Adaptivity in IoT-based Smart Grid Architecture," no. June, pp. 27–29, 2019.
- [11] H. Faris, S. Mirjalili, and I. Aljarah, "Automatic selection of hidden neurons and weights in neural networks using grey wolf optimizer based on a hybrid encoding scheme," *Int. J. Mach. Learn. Cybern.*, vol. 10, no. 10, pp. 2901–2920, 2019, doi: 10.1007/s13042-018-00913-2.
- [12] Q. Zhang, T. Wang, Y. Tian, F. Yuan, and Q. Xu, "ApproxANN: An approximate computing framework for artificial neural network," *Proc. -Design, Autom. Test Eur. DATE*, vol. 2015-April, no. ii, pp. 701–706, 2015, doi: 10.7873/date.2015.0618.
- [13] S. Shanmuganathan, *A hybrid artificial neural network (ANN) approach to spatial and non-spatial attribute data mining: A case study experience*, vol. 628. 2016.
- [14] W. Wilianto and A. Kurniawan, "Sejarah, Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, p. 36, 2018, doi: 10.31940/matrix.v8i2.818.
- [15] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *J. Comput. Commun.*, vol. 03, no. 05, pp. 164–173, 2015, doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- [16] Y. Liu, C. Yang, L. Jiang, S. Xie, and Y. Zhang, "Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities," *IEEE Netw.*, vol. 33, no. 2, pp. 111–117, 2019, doi: 10.1109/MNET.2019.1800254.
- [17] L. Nastase, "Security in the Internet of Things: A Survey on Application Layer Protocols," *Proc. - 2017 21st Int. Conf. Control Syst. Comput. CSCS 2017*, no. July 2016, pp. 659–666, 2017, doi: 10.1109/CSCS.2017.101.
- [18] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, "The internet of things: a survey," *Inf. Syst. Front.*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2015, doi: 10.1007/s10796-014-9492-7.