

**MONITORING DAN IDENTIFIKASI PEMAKAIAN BEBAN  
LISTRIK SECARA *REAL TIME* BERBASIS *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK***

**MONITORING AND IDENTIFICATION OF ELECTRIC  
LOAD USAGE IN REAL TIME BASED ON ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK**

**MUHAMMAD SYUKRI**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

**MONITORING DAN IDENTIFIKASI PEMAKAIAN BEBAN  
LISTRIK SECARA *REAL TIME* BERBASIS *ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORK***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan Diajukan oleh

**MUHAMMAD SYUKRI**

**D032181031**

**Kepada**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

**TESIS**  
**MONITORING DAN IDENTIFIKASI PEMAKAIAN**  
**BEBAN LISTRIK SECARA *REAL TIME* BERBASIS**  
***ARTIFICIAL NEURAL NETWORK***

**MUHAMMAD SYUKRI**  
**D032 181 031**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 23 Desember 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.**  
NIP. 19750404 200012 1 001

Pembimbing Pendamping



**Ir. Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19770322 200501 1 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**  
NIP. 19730926 2000 121 002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Elektro



**Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng.**  
NIP. 19720828 199903 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Syukri  
NIM : D032181031  
Program Studi : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Teknik Energi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis dengan judul **Monitoring Dan Identifikasi Pemakaian Beban Listrik Secara *Real Time* Berbasis *Artificial Neural Network***, adalah benar merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan dari orang lain. Apabila di kemudian hari ditemukan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 23 Desember 2022

Yang menyatakan,



**Muhammad Syukri**

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhana Wa Ta'ala atas rahmat dan hidayahNya selama ini. Serta shalawat atas junjungan nabi besar Muhammad Sallallahu 'Alaihi Wasallam sebagai suri tauladan yang baik sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul "Monitoring Dan Identifikasi Pemakaian Beban Listrik Secara Real Time Berbasis Artificial Neural Network"

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada konsentrasi Teknik Energi pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Gowa.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T sebagai Pembimbing Pertama yang telah meluangkan waktunya membimbing serta memberi masukan serta saran yang sangat penting kepada penulis.
2. Bapak Ir. Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D sebagai Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktunya membimbing serta memberi masukan serta saran yang sangat penting kepada penulis.
3. Bapak Muhammad Bachtiar Nappu, S.T., M.T., Ph.D, Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T dan Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T yang telah memberikan masukan dan saran selama proses penelitian berlangsung.
4. Segenap keluarga yang telah memberikan doa sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Rekan-rekan S-2 TE angkatan 2018.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan thesis ini.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan. Sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih baik lagi.

Akhir kata, penulis berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Makassar, Desember 2022

Muhammad Syukri

## ABSTRAK

**MUHAMMAD SYUKRI.** *Monitoring dan Identifikasi Pemakaian Beban Listrik Secara Real Time Berbasis Artificial Neural Network* (dibimbing oleh **Yusran, Yusri Syam Akil**)

Untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi peralatan listrik sektor rumah tangga secara *real time*, maka perlu dirancang sebuah sistem yang dapat memberikan informasi mengenai kapan peralatan listrik tersebut dalam kondisi *on* dan *off*. Penelitian ini bertujuan: (1) menghasilkan sebuah prototipe sistem monitoring dan identifikasi peralatan listrik secara *real time* berbasis Jaringan Syaraf Tiruan atau *Artificial Neural Network* (ANN), (2) mendapatkan hasil pengujian monitoring dan identifikasi beberapa kondisi peralatan listrik (tunggal dan kombinasi). Penelitian ini menggunakan konsep *Non Intrusive Load Monitoring* (NILM), yang dikombinasikan dengan ANN. Besaran arus listrik dari setiap peralatan listrik didapatkan melalui sensor *PZEM-004T*, yang kemudian diolah dengan bahasa pemrograman yang terdapat dalam *mikrokontroler Arduino Uno*. Selanjutnya, data arus tersebut digunakan untuk proses pelatihan ANN sehingga diperoleh algoritma pelatihan yang mampu mengidentifikasi penggunaan peralatan listrik, yang dalam penelitian ini menggunakan 5 jenis peralatan listrik tunggal (lampu, Teko listrik, kipas, kulkas dan dispenser) dan 26 kombinasi peralatan listrik dalam kondisi *on* dan *off* secara bersamaan dan bergantian. Sebuah prototipe dari sistem monitoring dan identifikasi peralatan listrik berhasil dibuat. Prototipe ini berbasis ANN dan beroperasi secara *real time*. Dari hasil pengujian didapatkan karakteristik monitoring arus dan identifikasi untuk masing-masing peralatan listrik. Perbedaan terbesar dari proses identifikasi beban listrik terjadi pada pengujian ke-9, dimana keluaran ANN bernilai 15,9 pada target identifikasi yang bernilai 18, sehingga terdapat selisih sebesar 2,1. Selisih terkecil sebesar 0 terjadi pada pengujian ke-11, dengan keluaran ANN sebesar 22 pada target identifikasi sebesar 22. Dari hasil pengujian sebanyak 31 kombinasi peralatan listrik, algoritma ANN dapat mengidentifikasi beban sesuai dengan yang diharapkan.

**Kata kunci:** Peralatan Listrik, Monitoring, Identifikasi, *Artificial Neural Network*

## ABSTRACT

**MUHAMMAD SYUKRI.** *Monitoring and Identification of Electric Load Usage in Real Time Based on Artificial Neural Network* (supervised by **Yusran, Yusri Syam Akil**)

To obtain information about the condition of household electrical equipment in *real time*, it is necessary to design a system that can provide information about when the electrical equipment is in condition on and off. This study aims to: (1) produce a prototype system for monitoring and identifying electrical equipment in *real time* based on *Artificial Neural Network (ANN)*, (2) obtained the results of testing monitoring and identification of several conditions of electrical equipment (single and combined). This research uses the concept *Non Intrusive Load Monitoring (NILM)* combined with *ANN*. The amount of electric current from each electrical equipment is obtained through the sensor *PZEM-004T*, which is then processed with the programming language contained in *Arduino Uno microcontroller*. Furthermore, the current data is used for the training process *ANN* in order to obtain a training algorithm that is able to identify the use of electrical equipment, which in this study used 5 types of single electrical equipment (lamps, electric kettles, fans, refrigerators and dispensers) and 26 combinations of electrical equipment in conditions on and off simultaneously and alternately. A prototype of the electrical equipment monitoring and identification system has been successfully created. This prototype is based on *ANN* and operates in real time. From the test results obtained the characteristics of current monitoring and identification for each electrical equipment. The biggest difference from the identification process of the electrical load occurs in the 9th test, where the *ANN* output is 15.9 on the identification target which is 18, so there is a difference of 2.1. The smallest difference of 0 occurs in the 11th test, with an *ANN* output of 22 at an identification target of 22. From the test results of 31 combinations of electrical equipment, the algorithm *ANN* can identify the load as expected.

**Keywords:** Electrical Equipment, Monitoring, Identification, *Artificial Neural Network*



## DAFTAR ISI

	<b>Hal</b>
<b>JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penelitian .....	2
D. Manfaat Penelitian .....	3
E. Batasan Masalah .....	3
F. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Bentuk Umum Identifikasi Beban .....	5
B. Metode Identifikasi Beban .....	6
C. <i>Artificial Neural Network</i> .....	7
D. <i>Software</i> MATLAB-SIMULINK .....	12
E. Mikrokontroler Arduino .....	13
F. Modul Energi PZEM-004T .....	15
G. <i>State of the Art</i> .....	16
H. Kerangka Pikir .....	18
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>	
A. Desain <i>Hardware</i> .....	19
B. Desain <i>Software</i> .....	26
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Tampilan Pengujian Beban .....	39
B. Karakteristik Monitoring dan Identifikasi Beban .....	45
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan .....	48
B. Saran .....	48

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Umum Sistem Identifikasi Beban .....	5
Gambar 2. Gelombang Arus Peralatan Listrik .....	6
Gambar 3. Contoh <i>Single-Layer Feedforward</i> .....	10
Gambar 3. Contoh <i>Multi-Layer Feedforward</i> .....	11
Gambar 3. Struktur NN .....	8
Gambar 3. Struktur NN .....	8
Gambar 5. Komunikasi Data MATLAB-Arduino .....	12
Gambar 6. Modul Energi PZEM-004T .....	15
Gambar 7. Kerangka Pikir Penelitian.....	18
Gambar 8. Skema Pengujian .....	19
Gambar 9. Sensor PZEM-004T.....	20
Gambar 10. Arduino Uno.....	21
Gambar 11. Skema Rangkaian .....	21
Gambar 12. Prototipe Alat .....	22
Gambar 13. Inisialisasi Data Input Arus pada Matlab .....	25
Gambar 14. Inisialisasi Data Output/Target Arus pada Matlab .....	26
Gambar 15. Tampilan <i>Toolbox</i> NNtool pada Matlab.....	26
Gambar 16. Konfigurasi Data <i>Input</i> dan Target.....	27
Gambar 17. Proses Inisialisasi Data Input dan Target .....	27
Gambar 18. Konfigurasi <i>Network</i> .....	28
Gambar 19. Input <i>Networks</i> pada Toolbox NN .....	28
Gambar 20. Persiapan untuk Proses Pelatihan <i>Networks</i> .....	29
Gambar 21. Proses Iterasi Pelatihan <i>Networks</i> .....	29
Gambar 22. <i>Output Error</i> ANN .....	30
Gambar 23. Desain ANN .....	30
Gambar 24. Konversi <i>Networks</i> .....	31
Gambar 25. <i>Block</i> NN .....	31
Gambar 26. Pemodelan <i>Layer</i> NN .....	32
Gambar 27. Desain <i>Custom Neural Process Input</i> .....	32
Gambar 28. <i>Custom</i> NN Layer 1.....	32
Gambar 29. <i>Custom</i> NN Layer 1 <i>Weight/Bobot</i> .....	33

Gambar 30. <i>Custom NN Layer 2</i> .....	33
Gambar 31. Pemodelan Blok Simulink.....	34
Gambar 32. Lampu Indikator Kondisi <i>off</i> .....	35
Gambar 33. Lampu Indikator untuk Beban Lampu .....	35
Gambar 34. Lampu Indikator untuk Beban Teko .....	36
Gambar 35. Lampu Indikator untuk Beban Kipas .....	36
Gambar 36. Lampu Indikator untuk Beban Kulkas .....	37
Gambar 37. Lampu Indikator untuk Beban Dispenser.....	37
Gambar 38. Monitoring dan Identifikasi Beban <i>State 2</i> .....	39
Gambar 39. Monitoring dan Identifikasi Beban <i>State 6</i> .....	40
Gambar 40. Monitoring dan Identifikasi Beban <i>State 14</i> .....	41
Gambar 41. Monitoring dan Identifikasi Beban <i>State 30</i> .....	42
Gambar 42. Monitoring dan Identifikasi Beban <i>State 62</i> .....	43
Gambar 43. Perbandingan Nilai Target dan <i>Output ANN</i> .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. <i>State of The Art</i> .....	16
Tabel 2. Spesifikasi Peralatan Listrik.....	22
Tabel 2. Klasifikasi Beban .....	24
Tabel 3. Karakteristik Arus Beban.....	26
Tabel 4. Identifikasi Beban dan Monitoring Arus .....	44

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Metode pencatatan pemakaian energi listrik yang ada saat ini memiliki kelemahan. Besarnya pemakaian energi listrik yang terdapat dalam tagihan pemakaian listrik masih berupa jumlah total dari pemakaian energi listrik dan total pembayaran. Banyak orang yang tidak memahami angka-angka yang tertera pada tagihan listrik, bahkan ada yang menganggap harganya terlalu mahal. Informasi mengenai besarnya energi listrik yang terpakai untuk setiap peralatan listrik akan dapat membantu dalam mengetahui apakah pembayaran rekening listrik sudah sesuai dengan pemakaian energi listriknya.

Tarif dasar listrik (TDL) yang disesuaikan dengan daya terpasang di rumah dikalikan dengan jumlah energi listrik yang digunakan setiap jam adalah cara yang digunakan untuk menentukan berapa harga pemakaian energi listrik yang ditampilkan pada kWh meter analog dan digital.

Secara umum, sistem instrumentasi pemantauan beban listrik masih menggunakan cara klasik, yaitu menggunakan banyak sensor yang terpasang pada setiap beban. Hal ini tentunya membutuhkan biaya besar untuk pemasangan dan pemeliharaan sistem sensornya. Dengan demikian, sistem instrumentasi pemantauan beban klasik menjadi rumit untuk diterapkan pada sektor rumah tangga. Sistem pemantauan beban listrik di masa depan akan berfokus pada upaya meminimalisasi jumlah peralatan instrumentasi dengan menggunakan sistem *Non Intrusive Load Monitoring (NILM)* (Hart, 1992). Sistem pemantauan beban berbasis NILM hanya memerlukan sensor tegangan dan arus (Roos, 1994). Sensor tidak perlu dipasang pada setiap beban untuk memantau keadaannya, karena sistem NILM hanya membutuhkan sensor tegangan dan arus. Sensor arus dan tegangan akan mengirimkan data penggunaan energi listrik, sehingga beban dapat dipantau dan dikendalikan dari satu titik pengukuran saja. Metode ini memungkinkan kita untuk melakukan pengukuran dan pengendalian konsumsi

energi listrik pada setiap beban tanpa memasang sensor pada tiap beban tersebut (Lin et al., 2011). Teknologi NILM membuat pemasangan peralatan instrumentasi menjadi mudah. Sehingga dengan demikian, sistem NILM kini menjadi sistem manajemen energi yang terpercaya (Laughman et al., 2003). Berdasarkan beberapa permasalahan di atas, maka penelitian ini mencoba merancang sebuah sistem monitoring dan identifikasi pemakaian energi listrik dari sejumlah peralatan–peralatan listrik yang umum ditemui di rumah konsumen.

Penggunaan teknologi NILM diharapkan memudahkan konsumen dalam memperoleh informasi mengenai peralatan mana yang sedang atau tidak terpakai pada saat itu, dan seberapa banyak pemakaian energi listrik yang telah digunakan dari masing-masing peralatan atau beban listrik di rumahnya. Konsep NILM ini banyak dijumpai dalam perancangan *Smart Meter* dalam menghitung pemakaian energy listrik. Dengan cara tersebut, peralatan-peralatan listrik yang boros dan hemat energi dapat dibedakan, sehingga konsumen bisa melakukan penghematan secara efektif. Sistem monitoring ini dirancang menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan atau *Artificial Neural Network (ANN)* yang merupakan salah satu teknik komputasi berbasis kecerdasan buatan.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas maka didapatkan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat prototipe sistem yang mampu mengidentifikasi dan memonitoring pemakaian peralatan-peralatan listrik pada sektor rumah tangga secara *real time* berbasis ANN?
2. Bagaimana mendapatkan hasil pengujian terhadap prototipe sistem monitoring dan identifikasi yang telah dibuat.

## **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat prototipe sistem yang mampu mengidentifikasi dan memonitoring pemakaian peralatan-peralatan listrik sektor rumah tangga

secara *real time*.

2. Mendapatkan hasil pengujian prototipe sistem identifikasi dan monitoring yang telah dibuat.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Prototipe sistem diharapkan dapat memberikan informasi terhadap konsumen agar mampu mengelola pemakaian energi listrik secara efisien.
2. Menjadi referensi untuk pengembangan sistem monitoring energi listrik berbasis teknik NILM.

#### **E. Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Beban yang disimulasikan dalam penelitian ini adalah beban linear berupa lampu, kulkas, kipas, dispenser dan teko listrik.
2. ANN yang digunakan adalah jenis Backpropagation Neural Network.
3. Data yang dipakai bersumber dari parameter arus berupa magnitudo arus listrik dari masing-masing peralatan listrik.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Adapun Sistematika penulisan dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan

##### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab II berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian dan kerangka pemikiran. Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Adapun sumber acuan dari



landasan teori ini adalah buku, artikel, jurnal, prosiding dan tulisan lainnya yang berhubungan dengan judul atau tema penelitian yang dilakukan dan juga sebagai petunjuk untuk memecahkan masalah yang diteliti. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pemikiran yang merupakan penjelasan tentang kerangka berfikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab III menjelaskan tentang tahapan penelitian yang meliputi perancangan sistem, teknik pengumpulan data, alat penelitian yang digunakan, desain penelitian, dan metode analisis

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab IV menjelaskan tentang hasil dan pembahasan penelitian serta implikasi dari penelitian yang dilakukan. Hasil merupakan suatu penjelasan tentang data kuantitatif yang dikumpulkan sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan.

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

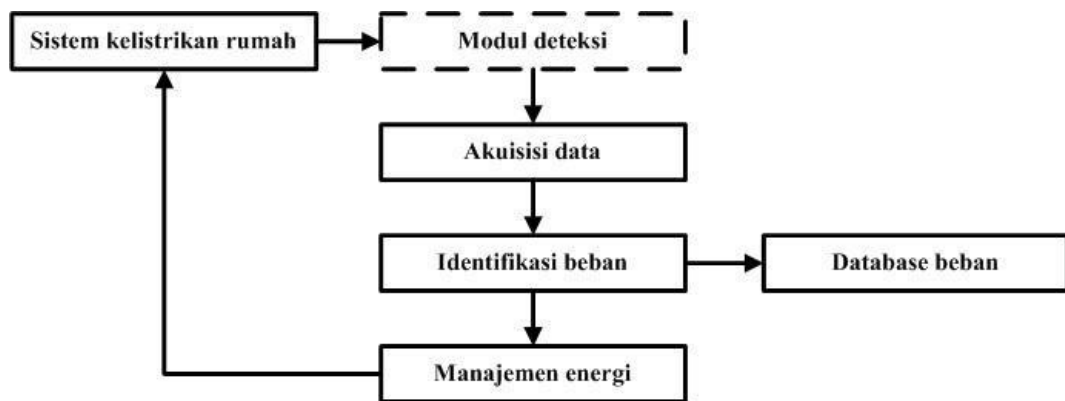
Bab V berisi kesimpulan dari keseluruhan isi penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian kedepannya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bentuk Umum Identifikasi Beban

Gambar 1 tentang struktur umum identifikasi beban memberikan contoh informasi tentang teknik atau pendekatan yang dapat digunakan untuk mengenali beban peralatan listrik. Parameter utama dari sistem pendeteksi beban adalah sampel gelombang tegangan dan arus. Ada dua teknik atau cara untuk mengukur arus dalam sistem identifikasi beban, yaitu:

- 1) Mengukur arus pada masing-masing beban tunggal secara terpisah. Cara ini membutuhkan biaya yang relatif tinggi karena sensor arus dipasang pada setiap beban.
- 2) Mengukur arus semua beban pada satu titik sumber listrik.



Gambar 1. Struktur umum sistem identifikasi beban  
(Sumber : Hutoro, 2015)

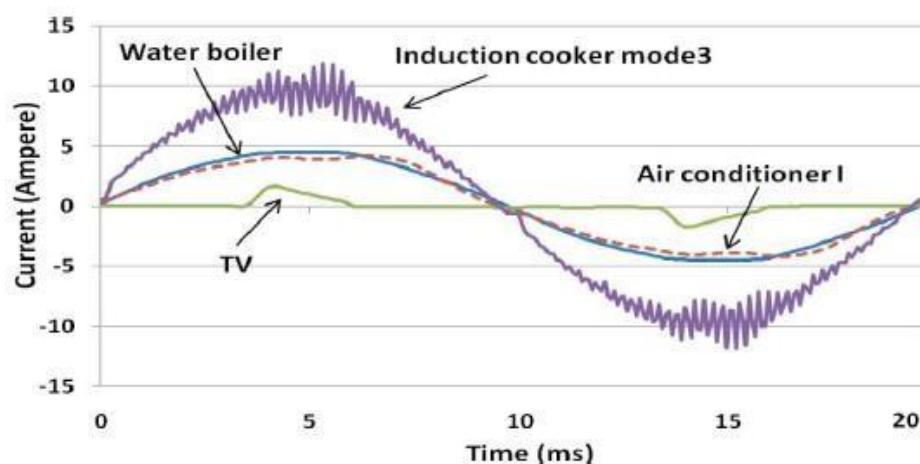
Modul akuisisi data berfungsi untuk mendapatkan sinyal pengukuran, seperti yang dapat diamati jika kita memperhatikan struktur di atas. Keadaan tunak dan situasi transien digunakan untuk mengamati sinyal ini. Modul akuisisi data mengontrol frekuensi sampling untuk mendapatkan sinyal dalam keadaan tunak dan situasi transien. Kondisi beban aktif atau tidak aktif akan ditentukan oleh modul deteksi. Modul ini juga digunakan untuk menentukan apakah beban harus ditambahkan ke sistem atau dikeluarkan dari sistem. Modul identifikasi beban akan memeriksa tegangan sampel dan bentuk gelombang arus jika beban

terhubung. Langkah berikutnya adalah mengirimkan informasi beban yang ditentukan ke manajemen energi untuk analisis jumlah penggunaan energi yang boros.

## B. Metode Identifikasi Beban

Dibutuhkan setidaknya dua jenis kondisi atau situasi, yaitu kondisi tunak dan kondisi transien, untuk memonitoring dan mengidentifikasi beban. Ketika beban listrik beroperasi dalam keadaan stabil, pendekatan keadaan tunak menggunakan parameter sinyal konstan. Karakteristik sinyal transisi pensaklaran dari beban digunakan dalam pendekatan dalam situasi transien. Teknik berdasarkan sifat-sifat gelombang arus merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengidentifikasi beban.

Ilustrasi sebuah beban dapat dijelaskan dengan sangat rinci menggunakan bentuk gelombang arus dalam domain waktu seperti yang dijelaskan pada Gambar 2. Sebagai parameter yang dapat digunakan dalam identifikasi beban listrik dapat diamati dalam bentuk karakteristik arus puncak, arus rata-rata, dan arus rms (*root mean square*).



Gambar 2. Gelombang arus peralatan listrik  
(Sumber : Hutoro, 2015)

Gambar 2 menunjukkan gelombang arus dari beberapa jenis peralatan listrik. Bahwa beberapa peralatan memiliki karakteristik bentuk gelombang arus yang berbeda. Sebagai contoh, boiler air (elemen resistif) memiliki bentuk

gelombang sinusoidal, AC (*Air Conditioner*) memiliki bentuk sinusoidal sedikit melengkung, televisi memiliki bentuk gelombang non-sinusoidal, dan kompor induksi memiliki harmonik yang tinggi.

### ***C. Artificial Neural Network***

*Artificial Neural Network Artificial (ANN)* atau Jaringan Syaraf Tiruan merupakan sebuah teknik atau pendekatan pengolahan informasi yang terinspirasi oleh cara kerja sistem syaraf biologis, khususnya pada sel otak manusia dalam memproses informasi. Elemen kunci dari teknik ini adalah struktur sistem pengolahan informasi yang bersifat unik dan beragam untuk tiap aplikasi. Neural Network (NN) terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan informasi (neuron) yang saling terhubung dan bekerja bersama-sama untuk menyelesaikan sebuah masalah tertentu, yang pada umumnya adalah masalah klasifikasi ataupun prediksi.

NN merupakan kategori ilmu *Soft Computing*. NN sebenarnya mengadopsi dari kemampuan otak manusia yang mampu memberikan stimulasi/rangsangan, melakukan proses, dan memberikan output. Output diperoleh dari variasi stimulasi dan proses yang terjadi di dalam otak manusia. Kemampuan manusia dalam memproses informasi merupakan hasil kompleksitas proses di dalam otak. Misalnya, yang terjadi pada anak-anak, mereka mampu belajar untuk melakukan pengenalan meskipun mereka tidak mengetahui algoritma apa yang digunakan. Kekuatan komputasi yang luar biasa dari otak manusia ini merupakan sebuah keunggulan di dalam kajian ilmu pengetahuan.

Fungsi dari NN diantaranya adalah:

1. Pengklasifikasian pola
2. Memetakan pola yang didapat dari input ke dalam pola baru pada output
3. Penyimpan pola yang akan dipanggil kembali
4. Memetakan pola-pola yang sejenis
5. Pengoptimasi permasalahan
6. Prediksi

Cara kerja NN dapat dianalogikan sebagaimana halnya manusia belajar dengan menggunakan contoh atau yang disebut sebagai supervised learning. Sebuah NN dikonfigurasi untuk aplikasi tertentu, seperti pengenalan pola atau klasifikasi data, dan kemudian disempurnakan melalui proses pembelajaran. Proses belajar yang terjadi dalam sistem biologis melibatkan penyesuaian koneksi sinaptik yang ada antara neuron, dalam halnya pada NN penyesuaian koneksi sinaptik antar neuron dilakukan dengan menyesuaikan nilai bobot yang ada pada tiap konektivitas baik dari input, neuron maupun output.

ANN memproses informasi berdasarkan cara kerja otak manusia. Dalam hal ini NN terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan yang saling terhubung dan bekerja secara paralel untuk memecahkan suatu masalah tertentu. Di sisi lain, komputer konvensional menggunakan pendekatan kognitif untuk memecahkan masalah; dimana cara pemecahan masalah haruslah sudah diketahui sebelumnya untuk kemudian dibuat menjadi beberapa instruksi kecil yang terstruktur. Instruksi ini kemudian dikonversi menjadi program komputer dan kemudian ke dalam kode mesin yang dapat dijalankan oleh komputer.

Dengan kemampuannya, ANN dapat digunakan untuk memperoleh pengetahuan dari data yang rumit atau tidak tepat, serta juga dapat digunakan untuk mengekstrak pola dan mendeteksi tren yang terlalu kompleks untuk diperhatikan baik oleh manusia atau teknik komputer lainnya. Sebuah NN yang telah terlatih dapat dianggap sebagai “ahli” dalam kategori pemrosesan informasi yang telah diberikan untuk dianalisa. Ahli ini kemudian dapat digunakan untuk menyediakan proyeksi terkait kemungkinan kondisi di masa mendatang serta menjawab pertanyaan “bagaimana jika?”

Arsitektur ANN menentukan bagaimana beberapa neuronnya diatur, atau ditempatkan, dalam hubungan satu dengan yang lain. Pengaturan ini terstruktur dasarnya dengan mengarahkan koneksi sinaptik dari neuron. Topologi jaringan saraf yang diberikan, dalam arsitektur tertentu, bisa jadi didefinisikan sebagai komposisi struktural yang berbeda yang dapat diasumsikan. Dengan kata lain, itu mungkin untuk memiliki dua topologi milik arsitektur yang sama, di mana yang pertama topologi terdiri dari 10 neuron, dan yang kedua terdiri dari 20 neuron.

Selain itu, seseorang dapat terdiri dari neuron dengan fungsi aktivasi logistik, sedangkan yang lain dapat terdiri dari neuron dengan garis singgung hiperbolik sebagai aktivasi fungsi. Di sisi lain, pelatihan arsitektur tertentu melibatkan penerapan satu set terkoordinasi untuk menyesuaikan bobot dan ambang batas neuronnya. Oleh karena itu, seperti penyesuaian, juga dikenal sebagai algoritma pembelajaran, bertujuan untuk menyempurnakan jaringan bahwa keluarannya mendekati nilai yang diinginkan.

### **1. Arsitektur Utama ANN**

Secara umum, jaringan syaraf tiruan dapat dibagi menjadi tiga bagian, yang diberi nama lapisan, yang dikenal sebagai:

(a) Lapisan input

Lapisan ini bertanggung jawab untuk menerima informasi (data), sinyal, fitur, atau pengukuran dari lingkungan eksternal. Input ini (sampel atau pola) biasanya dinormalisasi dalam batas nilai yang dihasilkan oleh fungsi aktivasi. Normalisasi ini menghasilkan presisi numerik yang lebih baik untuk operasi matematika yang dilakukan oleh jaringan.

(b) Lapisan tersembunyi, perantara, atau tak terlihat

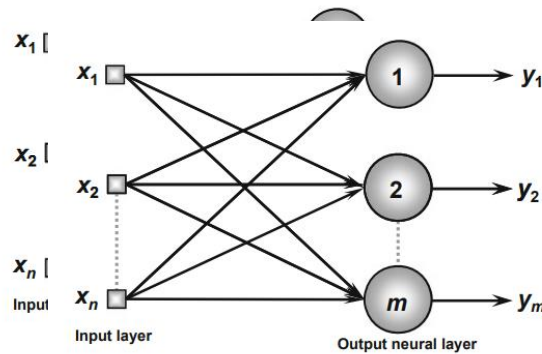
Lapisan ini terdiri dari neuron-neuron yang bertanggung jawab untuk mengekstraksi pola yang terkait dengan proses atau sistem yang sedang dianalisis. Lapisan ini melakukan sebagian besar pemrosesan internal dari jaringan.

(c) Lapisan keluaran

Lapisan ini juga terdiri dari neuron-neuron, dan dengan demikian bertanggung jawab untuk menghasilkan dan mempresentasikan keluaran jaringan akhir, yang dihasilkan dari pemrosesan yang dilakukan oleh neuron-neuron pada lapisan sebelumnya. Arsitektur utama jaringan syaraf tiruan, dengan mempertimbangkan disposisi neuron, serta bagaimana mereka saling berhubungan dan bagaimana lapisan-lapisannya disusun, dapat dibagi menjadi jaringan *feedforward satu single-layer* dan jaringan *feedforward multilayer*.

## 2. *Arsitektur Single-Layer Feedforward*

Jaringan saraf tiruan ini hanya memiliki satu lapisan input dan satu lapisan saraf, yang juga merupakan lapisan output. Gambar 3 mengilustrasikan jaringan feedforward layer sederhana yang terdiri dari  $n$  input dan  $m$  output. Informasi selalu mengalir dalam satu arah (sehingga searah), yaitu dari lapisan input ke lapisan output. Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa dalam jaringan yang termasuk dalam arsitektur ini, jumlah keluaran jaringan akan selalu sesuai dengan jumlah neuronnya. Jaringan ini biasanya digunakan dalam klasifikasi pola dan masalah penyangkapan linier.



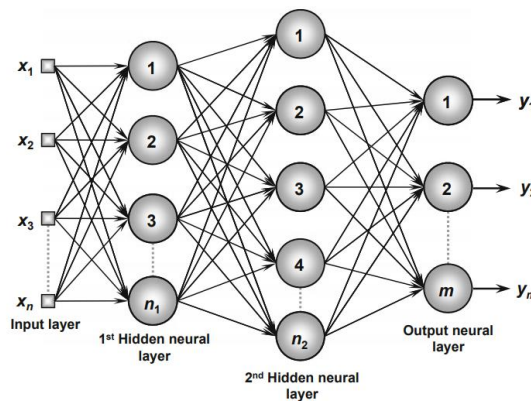
Gambar 3. Contoh Single-Layer Feedforward  
(Sumber : Silva et al., 2017)

## 3. *Arsitektur Multi-Layer Feedforward*

Berbeda dari jaringan milik arsitektur sebelumnya, jaringan feedforward dengan banyak lapisan terdiri dari satu atau lebih lapisan syaraf tersembunyi (Gbr. 4). Mereka digunakan dalam solusi dari beragam masalah, seperti yang terkait dengan perkiraan fungsi, klasifikasi pola, identifikasi sistem, kontrol proses, optimisasi, robotika, dan sebagainya.

Gambar 4 menunjukkan jaringan *feedforward* dengan banyak lapisan yang terdiri dari satu lapisan input dengan  $n$  sinyal sampel, dua lapisan syaraf tersembunyi yang masing-masing terdiri dari  $n_1$  dan  $n_2$  neuron, dan terakhir satu lapisan syaraf keluaran yang terdiri dari  $m$  neuron yang mewakili masing-masing nilai keluaran dari masalah yang sedang dianalisis.

Dari Gambar 4, dapat dipahami bahwa jumlah neuron yang menyusun lapisan tersembunyi pertama biasanya berbeda dengan jumlah sinyal yang menyusun lapisan input jaringan. Faktanya, jumlah lapisan tersembunyi dan jumlah neuronnya masing-masing bergantung pada sifat dan kompleksitas masalah yang dipetakan oleh jaringan, serta kuantitas dan kualitas data yang tersedia tentang masalah tersebut. Meskipun demikian, demikian juga untuk jaringan *feedforward* lapisan sederhana, jumlah sinyal keluaran akan selalu sama dengan jumlah neuron dari lapisan tersebut



Gambar 4. Contoh Multi-Layer Feedforward  
(Sumber : Silva et al., 2017)

Keuntungan lainnya dari penggunaan NN termasuk:

- Pembelajaran adaptif: Kemampuan untuk belajar dalam melakukan tugas-tugas berdasarkan data yang diberikan
- *Self-Organization*: Sebuah NN dapat membangun representasi dari informasi yang diterimanya selama proses pembelajaran secara mandiri
- Operasi *Real Time*: Penghitungan NN dapat dilakukan secara paralel, sehingga proses komputasi menjadi lebih cepat.

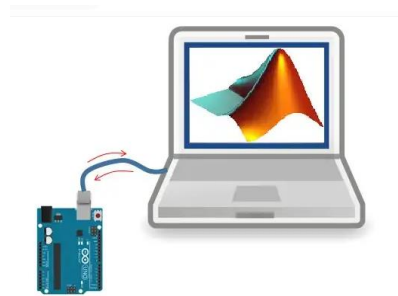
NN dan algoritma komputer konvensional tidaklah saling bersaing tetapi saling melengkapi. Beberapa tugas atau masalah lebih cocok diselesaikan dengan pendekatan algoritmik seperti halnya operasi aritmetika, di sisi lain ada tugas-tugas yang lebih cocok untuk jaringan syaraf, misalnya prediksi pergerakan data *time-series*. Bahkan, sejumlah besar tugas lainnya memerlukan sistem yang



menggunakan kombinasi dari kedua pendekatan tersebut, dimana biasanya komputer konvensional digunakan untuk mengawasi NN agar dapat memberikan kinerja maksimum.

#### D. Software MATLAB-SIMULINK

Penelitian ini menggunakan bantuan *interface software* MATLAB-Simulink. Software Simulink merupakan *tool* atau salah satu bagian dari *library* MATLAB. MATLAB atau yang kita sebut dengan (*Matrix Laboratory*) yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan MATLAB juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks. Simulink merupakan bagian tambahan dari software MATLAB (Mathworks Inc.). Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis.



Gambar 5. Komunikasi data MATLAB-Arduino  
(Sumber : <https://hasisyed.medium.com>)

#### Instalasi Library

Perangkat MATLAB pada penerapannya dapat berkomunikasi dengan perangkat luar seperti Arduino. Untuk keperluan komunikasi data antara MATLAB-Arduino, diperlukan prosedur tambahan, yaitu instalasi library arduino pada MATLAB. Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk instalasi library tersebut, yaitu instalasi secara *offline* dan *online*. Secara *offline*, instalasi dilakukan secara manual yaitu *library* arduino didownload kemudian dimasukkan secara manual pada instalasi MATLAB.

## E. Mikrokontroler Arduino

Untuk memahami Arduino, terlebih dahulu kita harus memahami apa yang dimaksud dengan *physical computing*. *Physical computing* adalah suatu cara untuk membuat sebuah sistem atau perangkat fisik dengan menggunakan software dan hardware yang sifatnya interaktif yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan merespon balik. *Physical computing* adalah sebuah konsep untuk memahami hubungan yang manusiawi antara lingkungan yang sifat alaminya adalah analog dengan dunia digital. Pada prakteknya, konsep ini diaplikasikan dalam desain-desain alat atau proyek-proyek yang menggunakan sensor dan mikrokontroler untuk menerjemahkan input analog ke dalam sistem *software* untuk mengendalikan gerakan alat-alat elektro-mekanik seperti lampu, motor dan sebagainya.

Pembuatan prototipe atau *prototyping* adalah kegiatan yang sangat penting di dalam proses *physical computing* karena pada tahap inilah seorang perancang melakukan eksperimen dan uji coba dari berbagai jenis komponen, ukuran, parameter, program komputer dan sebagainya berulang-ulang kali sampai diperoleh kombinasi yang paling tepat. Dalam hal ini perhitungan angka-angka dan rumus yang akurat bukanlah satu-satunya faktor yang menjadi kunci sukses di dalam mendesain sebuah alat karena ada banyak faktor eksternal yang turut berperan, sehingga proses mencoba dan menemukan/mengoreksi kesalahan perlu melibatkan hal-hal yang sifatnya non-eksakta. *Prototyping* adalah gabungan antara akurasi perhitungan dan seni.

Idealnya sebuah prototipe adalah sebuah sistem yang fleksibel dimana perancang bisa dengan mudah dan cepat melakukan perubahan-perubahan dan mencobanya lagi sehingga tenaga dan waktu tidak menjadi kendala berarti. Dengan demikian harus ada sebuah alat pengembangan yang membuat proses *prototyping* menjadi mudah.

Pada masa lalu (dan masih terjadi hingga hari ini) bekerja dengan hardware berarti membuat rangkaian menggunakan berbagai komponen elektronik seperti resistor, kapasitor, transistor dan sebagainya. Setiap komponen disambungkan

secara fisik dengan kabel atau jalur tembaga yang disebut dengan istilah “*hard wired*” sehingga untuk merubah rangkaian maka sambungan-sambungan itu harus diputuskan dan disambung kembali. Dengan hadirnya teknologi digital dan mikroprosesor fungsi yang sebelumnya dilakukan dengan *hard wired* digantikan dengan program-program *software*. Ini adalah sebuah revolusi di dalam proses *prototyping*. *Software* lebih mudah diubah dibandingkan *hardware*, dengan beberapa penekanan tombol kita dapat merubah logika alat secara radikal dan mencoba versi ke-dua, ke-tiga dan seterusnya dengan cepat tanpa harus mengubah pengkabelan dari rangkaian. Saat ini ada beberapa alat pengembangan prototipe berbasis mikrokontroler yang cukup populer, misalnya:

- Arduino
- I-CubeX
- Arie Robotics Project Junio

Di antara sekian banyak alat pengembangan prototype, Arduino adalah salah satunya yang paling banyak digunakan. Arduino dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “*platform*” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memori mikrokontroler. Ada banyak proyek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah *platform* karena menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi. Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang *open source*, baik untuk *hardware* maupun *software*-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang. Anda bisa bebas men-download gambarnya, membeli komponen-komponennya, membuat PCB-nya dan merangkainya sendiri tanpa harus

membayar kepada para pembuat Arduino. Sama halnya dengan IDE Arduino yang bisa di-download dan diinstal pada komputer secara gratis.

#### E. Modul Energi PZEM-004T



Gambar 6. Modul Energi PZEM-004T

Adapun fungsi dari modul energi PZEM004

- a. Fungsi pengukuran parameter (tegangan, arus, daya aktif, energi).
- b. *Overload* fungsi alarm (*over power* alarm ambang lampu kilat dan *buzzer* berbunyi untuk alarm).
- c. Fungsi pengaturan ambang batas alarm daya (dapat mengatur ambang batas daya alarm).
- d. Simpan data saat matikan (simpan akumulasi energi sebelum dimatikan).
- e. Fungsi tampilan digital merah cerah (tegangan tampilan, arus, daya aktif dan energi).
- f. Fungsi komunikasi serial (dengan *interface* serial *TTL* itu sendiri, bisa berkomunikasi dengan berbagai macam terminal melalui papan pin, baca dan atur parameternya).

### F. *State of The Art*

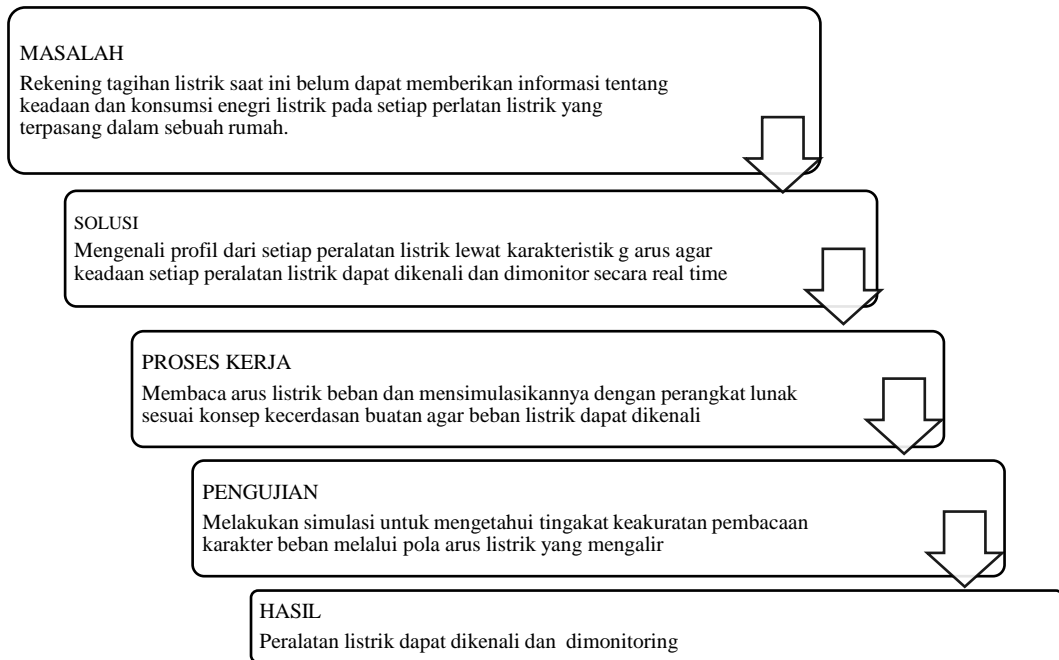
Penelitian-penelitian yang telah dilakukan seperti pada tabel 1 berikut menunjukkan bagaimana menerapkan konsep NILM untuk mengenali pola dan karakteristik beban atau peralatan listrik. Pada beberapa penelitian ditunjukkan bagaimana penerapan konsep NILM dalam membangun sebuah sistem pemantauan energi listrik.

Tabel 1. *State of The Art*

Peneliti	Judul Penelitian	Tahun	Hasil Penelitian
Chang, H.-H.	Non-Intrusive Demand Monitoring and Load Identification for Energy Management Systems Based on Transient Feature Analyses.	2012	Mengenali berbagai profil peralatan listrik dari sisi bentuk gelombang transien. Kelemahan dari penelitian ini adalah system belum dijalankan secara real time
Hutoro Koko, Soeprijatno Adi dan Penangang Ontoneso	Desain Smart Meter Untuk Memantau Dan Identifikasi Pemakaian Energi Listrik Pada Sektor Rumah Tangga Menggunakan Backpropagation Neural Network	2015	Mengukur pemakaian energy listrik dari setiap peralatan listrik yang ada dalam sebuah rumah. Kelemahan dari penelitian ini adalah sudah dijalankan secara real time, tetapi belum mampu memonitoring semua kondisi beban.
Hosseini, S.S., Agbossou, K., Kelouwani, S., dan Cardenas, A.	Non-Intrusive Load monitoring through home energy management systems	2017	Menerapkan konsep NILM dalam management energi dalam suatu gedung. Kelemahan dari penelitian ini adalah system belum dijalankan secara real time
Muhammad Yusuf Yunus dan Marhatang	Rancang Bangun Smart Meter berbasis NILM Untuk memantau Pemakaian Energi Listrik Pada Sektor Rumah Tangga Menggunakan Hybrid	2017	Membuat suatu system Smart Meter pemakaian energi listrik dengan menggunakan metode gabungan antara Neural Network dan Particle Swarm Optimization (PSO-NN). Kelemahan dari penelitian ini adalah

	Particle Swarm Optimization – Neural Network (PSO-NN)		sudah dijalankan secara real time, tetapi belum mampu memonitoring semua kondisi beban.
Yanchi Liu, Xue Wang and Wei You	Non-intrusive Load Monitoring by Voltage-Current Trajectory Enabled Transfer Learning	2018	Makalah ini telah mengusulkan metode pengenalan beban listrik berdasarkan bentuk dan informasi warna lintasan V-I (tegangan dan arus) dan pengkodean warna untuk pemantauan beban non-intrusive. Kelemahannya adalah system ini belum dijalankan secara <i>real time</i> .
Antonio Maria Sudoso dan Veronica Piccialli	Non-Intrusive Load Monitoring with an Attention-based Deep Neural Network	2019	Mengenali dan membedakan peralatan listrik dengan metode yang disebut “ <i>encoder-decoder deep learning</i> ”. Kelemahannya adalah penelitian ini belum dijalankan secara <i>real time</i>
Muhammad Syukri	Monitoring dan Identifikasi Pemakaian Energi Listrik Sektor Rumah Tangga Secara Real Time berbasis Jaringan Syaraf Tiruan	2020	Memantau pemakaian energi listrik pada peralatan listrik rumah tangga menggunakan <i>Artificial Neural Network</i> yang dilakukan secara <i>Real Time</i> . Penelitian telah dapat mengenali semua kondisi beban listrik secara <i>real time</i> , baik pada beban tunggal maupun kombinasi.

## E. Kerangka Pikir



Gambar 7. Kerangka pikir penelitian