

Manajemen Energi Listrik Smarthome Menggunakan Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NILM)

Nurman Hariyanto^{*1)}, Ary Setijadi Prihatmanto²⁾, dan Dian Anggraini³⁾

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak
Institut Teknologi Bandung, Universitas Pendidikan Indonesia

Bandung, Indonesia

nurman.hariyanto13@gmail.com¹⁾, asetijadi@liskk.ee.itb.ac.id²⁾, dian.anggraini@upi.edu³⁾

Abstract

Reducing the use of electrical energy in everyday life can be done with the awareness of the user. Awareness of using electrical energy can be done by providing information about the use of electricity itself. In developing a smart home with energy management systems or other commercial electronic devices, a tool that can measure or sort electricity usage in buildings and households is needed based on current and voltage units. Measuring and sorting what is meant is separating the total power consumption used as a load of a specific device that can be used by applying the Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) technique known as Energy Disaggregation. The results are shown by NILM using the IoT concept data will be sent to the server via the internet using Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). The data is processed and given to the user in the form of measurement results for each electronic device connected to the measuring device. From these results, the system can separate the energy from the refrigerator and air conditioner from the total energy consumed at one time. This step is one way to make energy efficient, that an energy management system with iot concept is built.

Keywords: non-intrusive load monitoring, smart home energy management systems, internet of things.

Abstrak

Kepedulian akan pemanfaatan energi listrik yang tepat dapat dilakukan dengan memberikan informasi tentang penggunaan listrik itu sendiri. Dalam mengembangkan *Smart Home* yang menggunakan sistem manajemen energi, dapat menggunakan alat yang dapat mengukur atau menyortir penggunaan listrik di gedung dan rumah tangga atau alat elektronik komersial lainnya berdasarkan arus dan tegangan unit dari setiap alat elektronik. Mengukur dan memilah penggunaan listrik yang dimaksud adalah memisahkan total konsumsi daya yang digunakan sebagai beban dari suatu perangkat tertentu dengan Menggunakan *Non-Intrusive Appliance Load Monitoring* (NILM) yang dikenal sebagai Energi Disagregasi. Dengan konsep *Internet of Things* (IoT) data hasil yang didapatkan dari pemrosesan tegangan dan arus menggunakan NILM akan dikirim ke server melalui internet menggunakan *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), kemudian data diolah dan diberikan kepada pengguna berupa hasil pengukuran untuk masing-masing alat elektronik terhubung ke alat pengukur. Hasil yang didapatkan adalah dengan NILM system dapat memisahkan energi dari beberapa alat elektronik dari total konsumsi energi pada satu waktu. Langkah ini adalah salah satu cara untuk membuatnya hemat energi, sehingga dibangun sebuah sistem manajemen energi dengan konsep IoT.

Kata kunci: non-intrusive load monitoring, sistem manajemen energi, *internet of things*.

1. Pendahuluan

Konsumsi listrik merupakan salah satu faktor yang memengaruhi perekonomian negara dan perubahan iklim karena masih ada banyak yang membutuhkan sumber daya alam berupa bahan bakar fosil untuk mendapatkan energi listrik. Efisiensi dalam penggunaan energi listrik dapat di kontrol dengan memantau konsumsi energi listrik di mana informasi akan di sampaikan kepada pengguna atau konsumen [1], [2]. Alat pengukur konsumsi energi tradisional yang masih digunakan masyarakat hanya dapat mengukur energi total data konsumsi untuk setiap rumah tangga dan tidak dapat diukur untuk setiap beban listrik perangkat. Untuk mendapatkan data beban untuk setiap perangkat membutuhkan informasi rinci yang jauh lebih memadai. Untuk mendapatkan informasi ini dapat menggugkan metode *Appliance Load Monitoring* (ALM). Ada dua pendekatan untuk metode ALM yaitu: *Intrusive Load Monitoring* (ILM) dan *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM). Metode NILM digunakan sebagai metode penginderaan (*sense*) terdistribusi dan penginderaan titik tunggal (*single point sensing*).

Metode ILM lebih akurat daripada NILM dalam mengukur konsumsi energi perangkat tertentu dibanding dengan NILM. Namun, dalam implementasinya membutuhkan biaya yang tinggi, konfigurasi beberapa sensor,

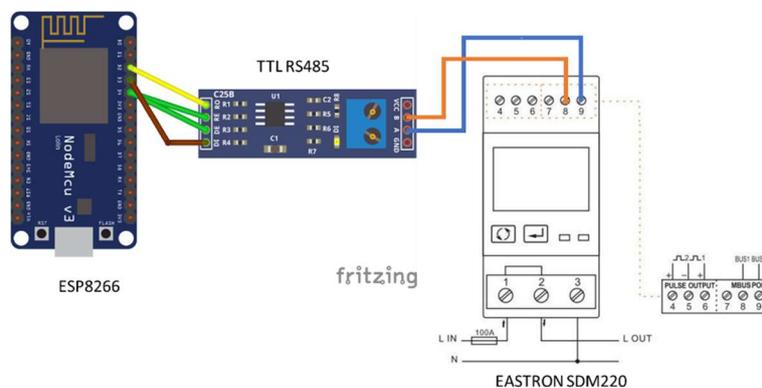
kompleksitas instalasi untuk skala besar dikarenakan metode ILM membutuhkan satu atau lebih sensor untuk setiap perangkat. Metode NILM hanya membutuhkan satu alat pengukur / sensor untuk setiap rumah atau bangunan saja untuk proses *monitoring*. Metode NILM dapat di gabungkan dengan pentingnya beberapa domain baru, seperti *Internet of Things* (IoT). Menggabungkan metode NILM dengan konsep IoT adalah salah satu alternatif yang paling relevan untuk disegrasi energi, yaitu untuk memberikan metode untuk memisahkan konsumsi individu untuk setiap perangkat elektronik agar masyarakat/pengguna dapat mengetahui lebih jelas konsumsi listrik yang digunakannya.

Penjelasan singkat mengenai konsep IoT yang dibangun adalah *Smart Home*, merupakan pengaturan rumah yang nyaman di mana peralatan dan perangkat rumah dapat dikontrol dan dipantau secara otomatis dari mana saja dengan internet. Di dalam *Smart Home* terdapat sistem manajemen energi. Manajemen energi menggunakan metode NILM untuk mengklasifikasi konsumsi untuk setiap perangkat elektronik dengan menggunakan SDM220.



Gambar 1 Eastron SDM 220

SDM220 terhubung ke mikrokontroler Arduino ESP8266 dan data yang diterima oleh arduino akan dikirimkan ke server melalui internet via MQTT. Gambar 2 adalah skema rangkaian untuk Arduino ESP8266 dan SDM220 yang dihubungkan oleh TTL RS485 yang berguna untuk menghubungkan komunikasi serial antara arduino dan sensor. Setelah data yang dikirimkan oleh arduino diterima oleh server, data tersebut akan diolah untuk mencocokkan data masukan dan kumpulan data yang dimiliki untuk proses identifikasi. Proses ini dimaksudkan untuk mengenali bahwa data tersebut adalah data dari sebuah perangkat yang sedang menyala atau dalam status *on*. Setelah data berhasil diidentifikasi, selanjutnya data hasil olahan akan dikirimkan ke konsumen atau pengguna.



Gambar 2 Skema rangkaian Arduino ESP8266 dan Eastron SDM 220

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, Akurasi klasifikasi pada konsumsi setiap beban perangkat elektronik menggunakan metode NILM. Fungsi utama dari NILM adalah untuk mendapatkan informasi khusus dari suatu perangkat elektronik secara *non-intrusif* [3]. Informasi dikumpulkan pada input utama dan kemudian terbagi untuk menghasilkan hasil berupa waktu aktif dan *power* yang digunakan oleh suatu perangkat untuk menggambarkan informasi yang didapatkan untuk contoh pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi konsumsi listrik dan *power on/offload* yang digunakan kulkas pada saat kondisi *single steady-stage*. Tahapan penelitian diambil dari fase yang digunakan pada metode NILM [11], yaitu :

A. Data acquisitions dan preprocessing

Akuisisi data digunakan untuk mendapatkan pengukuran beban total yang didapatkan dari alat pengukur beban [11]. Ada banyak alat ukur meteran listrik yang tersedia di pasaran, yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Eastron SDM220.

B. Features extraction

Alat pengukur beban mendeteksi dimana terjadi perubahan status transisi ON/OFF dari perangkat yang diukur dengan menganalisa perubahan level daya yang digunakan. Peristiwa ini kemudian dapat didefinisikan dalam istilah *temporary* dan *steady-state change*.

C. Training

Pada metode NILM, fase *training* atau *pre-learning* merupakan prasyarat yang harus dilakukan. Pada algoritme disegregasi membutuhkan data yang diberikan label agar data tersebut dapat dipelajari berdasarkan masing-masing model dari perangkat elektronik yang akan dikenali.

D. Data disaggregation

Pada algoritme *supervised disaggregation* untuk NILM dapat di kategorikan ke dalam metode *recognition* atau metode optimasi. Menyortir data yang berfungsi sebagai *disaggregation* atau mengklasifikasikan peralatan listrik *on* atau *off*.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Data acquisitions dan preprocessing

Secara umum, *sampling rate* dari *power meter* dapat di klasifikasikan sebagai *low-frequency meters* dan *high-frequency meters* yang digunakan untuk membedakan data *features* seperti apa yang akan di ekstraksi dari data yang di peroleh [4]. Pada alat pengukur daya biasanya mengukur tiga nilai yaitu : *voltage* (tegangan), *current* (arus), dan *power factor*. Untuk jenis pengukuran *low-frequency meters* untuk menangkap penggunaan konsumsi listrik dengan status *steady-state*. *High-frequency meters* bertujuan untuk menangkap keadaan sementara dan mengumpulkan data yang sangat detail dan spesifik untuk mendapatkan data muatan yang lebih spesifik [5]. Data didapatkan dari *power meter* dengan mikrokontroler ESP8266 yang dikomunikasikan modul TTL RS485, data yang didapatkan oleh mikrokontroler dikirimkan ke server dengan internet melalui *gateway* MQTT. Contoh data dapat dilihat pada Tabel 1, data tersebut merupakan data dari kumpulan beban untuk berbagai perangkat elektronik yang diukur oleh *power meter* dalam setiap waktu dimana *active power* dalam ukuran *kilo watt* (kW), *reactive power* dalam *Volts-Amps-Reactive* dan *Voltage* dalam ukuran *Volt* (V).

Tabel 1 Contoh data dari kumpulan data dari *power meter*

Time	Active Power (kW)	Reactive Energy (VAR)	Voltage (V)
1/1/2019 0:00	489	654	162
1/1/2019 0:00	997	158	417
1/1/2019 0:00	712	262	805
1/1/2019 0:00	382	896	214
1/1/2019 0:00	525	792	116
1/1/2019 0:00	391	423	773
1/1/2019 0:00	846	531	80

B. *Features extraction*

Beberapa metode untuk mendeteksi perubahan level penggunaan konsumsi daya dapat dilihat pada [4], [6], [7]. Dan untuk membedakan *transient event* dari peristiwa *steady-state* dan *transient* berdasarkan ekstraksi *feature* dari metode yang digunakan. Setelah melakukan akuisisi data, proses selanjutnya adalah memproses raw data (*voltage* dan *waveform*) untuk menghitung *power*. Setelah melakukan proses pada raw data, langkah selanjutnya adalah mendeteksi *event* / peristiwa transisi dari status konsumsi daya pada perangkat elektronik yang diukur (contohnya adalah status On ke Off). Modul mendeteksi transisi ON/OFF dari perangkat elektronik berdasarkan tingkat perubahan *power* yang digunakan. Contoh data yang didapatkan untuk beban yang didapatkan dari satu perangkat yang akan diidentifikasi (kulkas).

Tabel 2 Contoh data *active power* kulkas

<i>Time</i>	<i>Power Active</i> (kW)
2019-04-18 09:22:13-04:00	6.000000
2019-04-18 09:22:16-04:00	6.000000
2019-04-18 09:22:20-04:00	6.000000
2019-04-18 09:22:23-04:00	6.100000
2019-04-18 09:22:26-04:00	6.612903

C. *Training*

Elemen utama pada NILM dapat dibagi menjadi empat bagian yaitu: *Hardware*, menggunakan meteran listrik dengan komunikasi modul TTL RS485 yang terhubung ke mikrokontroler. Mikrokontroler mendapatkan *active power sampling rate* pada 1Hz dari meteran dan menyimpan data dalam memori mikrokontroler. *Event Detection* menggunakan tiga jenis data yang di pantau / *monitor* untuk mendeteksi setiap perubahan *real active power*. *Software event detection* dapat mendeteksi perubahan *power* atau perubahan parameter listrik lainnya. Sebuah transisi *active power* dari status *high* ke *low* dapat ditentukan pada saat perangkat elektronik di hidupkan, atau sebuah transisi *active power* dari status *low* ke *high* juga dilihat ketika perangkat elektronik di matikan. Secara matematika dapat di ekspresikan seperti persamaan (1) berikut:

$$\Delta P = P_{t2} - P_{t1} \tag{1}$$

- ΔP : perubahan pada *active power*,
- P_{t1} : *steady-state active power* pada saat *time* ke t_1 ,
- P_{t2} : *steady-state active power* pada saat *time* ke t_2 .

Untuk melakukan *training* menggunakan *dataset* REDD, contoh data pada kulkas dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Contoh data *active power* kulkas

<i>Time</i>	<i>Power Active</i>
2019-04-18 09:22:13-04:00	6.0
2019-04-18 09:22:16-04:00	6.0
2019-04-18 09:22:20-04:00	6.0
2019-04-18 09:22:23-04:00	6.0
2019-04-18 09:22:26-04:00	6.0

Tabel 4 Contoh data *power apparent* kulkas

<i>Time</i>	<i>Power Apparent</i>
2019-04-18 09:22:13-04:00	342.820007
2019-04-18 09:22:16-04:00	344.559998
2019-04-18 09:22:20-04:00	345.140015
2019-04-18 09:22:23-04:00	341.679993
2019-04-18 09:22:26-04:00	341.029999

D. *Data disaggregation*

Pada penelitian ini data yang digunakan menggunakan 5.8 cu.ft untuk kulkas. *Optimization method*: Pada penelitian ini, membandingkan hasil *feature extraction* data perangkat elektronik yang belum diketahui yang ada pada *database* dan mencari kecocokan terdekat dengan data yang ingin diidentifikasi.

$$\min P(t) - \sum_{i=1}^n (a_i P_i) + e(t) \quad (2)$$

Pada persamaan (2),

$P(t)$: nilai total perubahan dari *active power* yang di dapatkan dari meteran pada waktu t ,
 a_i : status dari beban i (0 : *on* dan 1 : *off*),
 P_i : *active power* dari beban i ,
 n : banyaknya beban pada sistem
 $e(t)$: toleransi *error*.

Metode *recognition* adalah metode pencocokan / *matching* yang paling sering digunakan untuk melakukan *disaggregation*. Dalam *datebase* data perangkat elektronik, banyak *feature* unik yang digunakan untuk menentukan struktur dan paramete dari algoritme *recognition*. Untuk mengidentifikasi beban , transisi status *steady-state* dari *active power* dapat digambarkan dalam bentuk P-Q. Dalam matematika dapat di ekspresikan seperti persamaan (3) berikut:

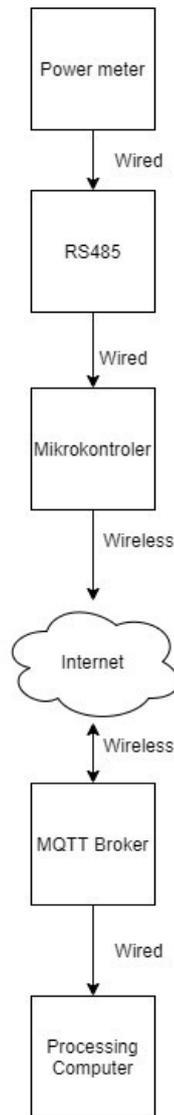
$$\begin{aligned} (\Delta P - P_k) + (\Delta Q - Q_k) &= e \text{ if } \Delta P > 0 \text{ (Perangkat On),} \\ (\Delta P - P_k) + (\Delta Q - Q_k) &= e \text{ if } \Delta P < 0 \text{ (Perangkat On)} \end{aligned} \quad (3)$$

Pada persamaan (3) dimana:

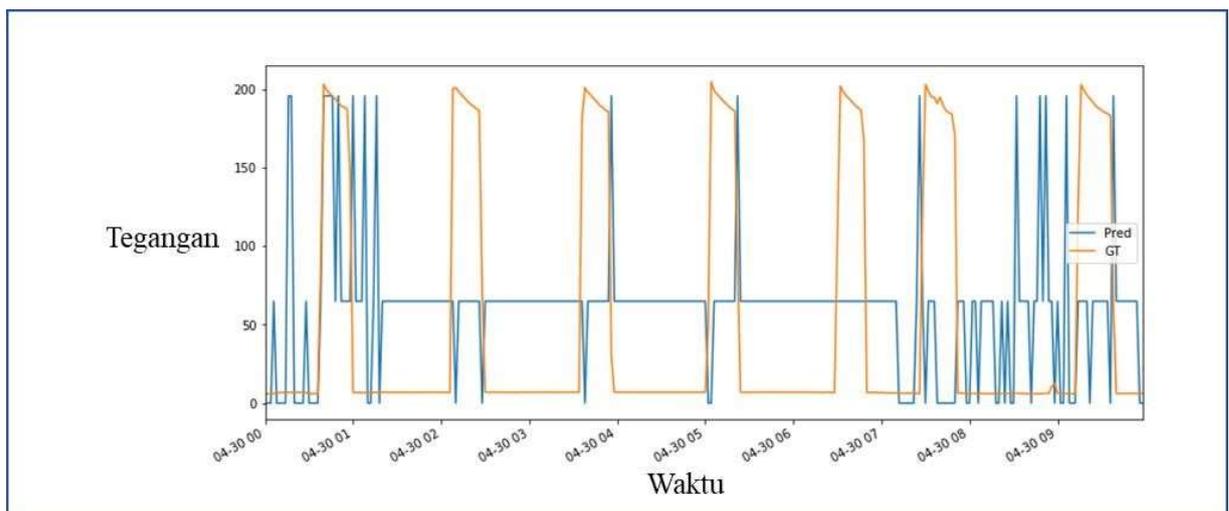
ΔP : perubahan dari *active power*,
 ΔQ : perubahan *reactive power*,
 P_k : kumpulan data *active power* dari k ,
 Q_k : kumpulan data *reactive power* dari k ,
 e : toleransi *error*.

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil dari prediksi antara dataset dan data *ground truth* / data input dari power meter dimana hasilnya menunjukkan grafik pola yang sama pada setiap fase *high* dan *low*. Sehingga dapat diidentifikasi data input yang masuk dengan nilai yang hampir sama dengan nilai *dataset*.

Informasi yang disajikan adalah prediksi konsumsi *power* / daya listrik dari perangkat elektronik dari *disaggregation* modul dan dikirimkan datanya ke server melalui internet menggunakan *gateway* MQTT dapat dilihat desain sistem yang dibangun pada Gambar 3.



Gambar 3 Desain sistem manajemen listrik IoT



Gambar 4 Visualisasi hasil prediksi antara dataset dan data input

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini, sistem dapat mengidentifikasi energi listrik yang digunakan oleh perangkat elektronik yaitu kulkas dari total energi yang digunakan pada waktu tertentu. Informasi di dapatkan secara terus menerus dari konsumsi kulkas. Jika data tersebut digunakan lebih lanjut akan ada kemungkinan untuk dilakukannya penghematan energi misalnya dengan membuat sistem perencanaan untuk pencairan / *defrosting* pada kulkas. Jika metode ini di implementasikan untuk lampu dan perangkat elektronik lainnya, akan memuat penggunaan elektrik lebih efisien jika data yang digunakan untuk mengatur jadwal penggunaan perangkat elektronik ketika hanya saat dibutuhkan saja.

5. Daftar Rujukan

- [1] G. W. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring," in Proc. IEEE, vol. 80, no. 12, pp. 1870–1891, Dec. 1992
- [2] Ahmed Zoha et al., "Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey", in Sensor 2012.
- [3] Ehrhardt-Martinez, K.; Donnelly, K.A.; Laitner, J.A. Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities; Technical Report E105 for American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEE): Washington, DC, USA, 2010.
- [4] Darby, S. The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption: A Review for Defra of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays; Technical Report for Environmental Change Institute, University of Oxford: Oxford, UK, 2006.
- [5] Berges, M.; Goldman, E.; Matthews, H.S.; Soibelman, L.; Anderson, K. User-centered non-intrusive electricity load monitoring for residential buildings. J. Comput. Civil Eng. 2011, 25, 471–480.
- [6] Wang, Z.; Zheng, G. Residential appliances identification and monitoring by a nonintrusive method. IEEE Trans. Smart Grid 2012, 3, 80–92.
- [7] Carrie Armel, K.; Gupta, A.; Shrimali, G.; Albert, A. Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity. Energ. Policy 2013, 52, 213–234.
- [8] Sun, M., Nakoty, F. M., Liu, Q., Liu, X., Yang, Y., & Shen, T. (2019). Non-Intrusive Load Monitoring System Framework and Load Disaggregation Algorithms: A Survey. 2019 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS). doi:10.1109/icamechs.2019.8861646.