TUGAS AKHIR

ANALISA DATA METERAN PLN UNTUK MENDETEKSI ARUS BOCOR DAN BEBAN LEBIH DENGAN METODE NILM SEBAGAI FAKTOR PENINGKATAN KOMSUMSI ENERGI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada Falkutas Teknik Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara

Disusun Oleh :

VANI FRENALDI

2207220035

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama	: Vani Frenaldi
NPM	: 2207220035
Program Studi	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: Analisa data meteran pln untuk mendeteksi arus bocor dan beban lebih dengan metode nilm sebagai fakto Peningkatan komsumsi energi
Bidang Ilmu	: Sistem Kendali

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:
Dosen Pembimbing I

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd

Dosen Pembanding I / Penguji

Assoc.Prof. Dr.Muhammad Fitra Zambak .ST.M.Sc

Dosen Pembanding II / Peguji

Prof. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd,MT

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Vani Frenaldi
Tempat/Tgl Lahir	: Bagansiapiapi, 21 Februari 2004
NPM	: 2207220035
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

"Analisa data meteran pln untuk mendeteksi arus bocor dan beban lebih dengan metode nilm sebagai faktor peningkatan komsumsi energi"

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Agustus 2026

Saya yang menyatakan,



Vani Frenaldi

ABSTRAK

Peningkatan penggunaan energi listrik pada sektor rumah tangga menyebabkan konsumsi energi listrik terus meningkat sehingga diperlukan sistem pemantauan yang mampu mengidentifikasi pola penggunaan energi secara efektif. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), yaitu metode yang mampu mengenali karakteristik beban listrik hanya melalui satu titik pengukuran tanpa memerlukan sensor pada setiap peralatan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data meteran listrik PLN dalam mendeteksi indikasi arus bocor dan beban lebih sebagai faktor yang memengaruhi peningkatan konsumsi energi listrik. Pengambilan data dilakukan pada tiga kamar kos dengan mengukur parameter tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik menggunakan tang ampere digital serta meteran listrik PLN. Data diperoleh melalui beberapa kali pengukuran pada kondisi penggunaan beban yang berbeda sehingga dapat menggambarkan variasi konsumsi energi listrik. Selanjutnya, data diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung nilai daya dan konsumsi energi, kemudian dianalisis menggunakan pendekatan metode NILM berdasarkan perubahan karakteristik beban listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan dan frekuensi relatif stabil sesuai standar operasional, sedangkan nilai arus, daya, dan konsumsi energi mengalami perubahan sesuai dengan jenis serta jumlah peralatan listrik yang digunakan. Perubahan parameter listrik tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola penggunaan beban serta memberikan indikasi awal terhadap kondisi beban lebih dan potensi arus bocor. Dengan demikian, metode NILM dapat diterapkan sebagai solusi pemantauan konsumsi energi listrik yang lebih efisien karena hanya memerlukan satu titik pengukuran, sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik serta mendukung pengelolaan sistem kelistrikan yang lebih baik.

Kata kunci: Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), konsumsi energi listrik, arus bocor, beban lebih, meteran listrik PLN.

ABSTRACT

he increasing use of electrical energy in the household sector has led to a continuous rise in electricity consumption, creating the need for a monitoring system capable of effectively identifying energy usage patterns. One method that can be applied is Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), which identifies the characteristics of electrical loads using only a single measurement point without requiring sensors on each electrical appliance. This study aims to analyze data from PLN electricity meters to detect indications of leakage current and overload as factors contributing to increased electrical energy consumption. Data were collected from three boarding house rooms by measuring voltage, current, frequency, power, and electrical energy using a digital clamp meter and a PLN electricity meter. Measurements were conducted under different load conditions to represent variations in electricity consumption. The collected data were processed using Microsoft Excel to calculate power and energy consumption and were subsequently analyzed using the NILM approach based on changes in electrical load characteristics. The results showed that the voltage and frequency values remained relatively stable within the operational standard, while the current, power, and energy consumption varied depending on the type and number of electrical appliances in use. These variations in electrical parameters can be utilized to identify load usage patterns and provide early indications of overload conditions and potential leakage current. Therefore, the NILM method can be implemented as an efficient solution for monitoring electrical energy consumption using only a single measurement point, thereby improving energy efficiency and supporting better electrical energy management.

Keywords: *Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), electrical energy consumption, leakage current, overload, PLN electricity meter.*

KATA PENGHANTAR

بِسْـــــــــــمِ اللهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيْمِ

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala Puji dan Syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "ANALISA DATA METERAN PLN UNTUK MENDETEKSI ARUS BOCOR DAN BEBAN LEBIH DENGAN METODE NILM SEBAGAI FAKTOR PENINGKATAN KOMSUMSI ENERGI" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).

Laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, tentunya tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Yang teristimewa kepada Ayahanda Safrudin dan ibunda tercinta Normalina yang telah memberikan dukungan bagi penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Akrim M.pd, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Kepada keluarga saya,Saya Normalina, Safrudin, serta adik saya Qaddafi Devano Farzan yang selalu mendoakan, memberikan perhatian, serta kasih sayang yang menjadi sumber kekuatan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Assoc. Prof Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc.,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Dr. Elvy Sahnur, S.T., M.Pd selaku Kepala Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Benny Oktorialdi, S.T., M.T, selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Affandi, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan III Bidang Kemahasiswaan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Ir Abdul Aziz Hutasuhut M.M, selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu menyelesaikan serta memberikan ide-ide dan masukan dalam

menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

9. Terima kasih untuk Ibunda saya Normalina , safrudin ayah saya yang selalu menjadi bagian penting dalam perjalanan ini. Terima kasih atas dukungan tanpa henti, kesabaran dalam menghadapi setiap proses, serta semangat yang selalu diberikan ketika keadaan terasa sulit. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik.
10. Teruntuk Sahabat Sahabat saya Firmansyah, Rizki Pratama, Tomi Sitepu, Muhammad Ade Farhan, Muhammad Sodiqih Dalimunthe. Terimakasih atas dukungan, bantuan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi dan kebersamaannya selama di kuliah ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat sehingga penulis menerima kritikan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengharapkan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca. Akhirnya kepada Allah SWT penulis serahkan segala ketercapaian dan keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamu’alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan 27 Juli 2026
Penulis

VANI FRENALDI

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan 7
2.2 Landasan Teori 10
2.2.1 Energi Listrik 10
2.2.2 Tegangan Listrik 13
2.2.3 Arus Listrik 14
2.2.4 Frekuensi 15
2.2.4 Daya Listrik 16
2.2.6 Energi Listrik (kWh) 17
2.2.7 Meter Listrik PLN 18
2.2.8 Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) 20
2.2.9 Prinsip Kerja Metode NILM 21
2.2.10 Penerapan NILM pada Penelitian Ini 22
2.2.11 Arus Bocor (Leakage Current) 22
2.2.12 Beban Lebih (Overload) 24
2.2.13 Pola Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 29
3.1.1 Tempat Penelitian 29
3.1.2 Waktu Penelitian 29
3.2 Alat dan Perangkat Penelitian 29
3.2.1 Alat Penelitian 30
3.2.2 Perangkat Penelitian 30
3.3 Diagram Blok Penelitian 30
3.3.1 Penjelasan Dari Diagram Blok 30
3.4 Prosedur penelitian 33
3.5 Diagram Alir Penelitian 35
3.5.1 Penjelasan Dari Diagram Alir 36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38

4.1 Hasil Pengukuran Kamar 1 38
4.1.1 Hasil Pengukuran Parameter Listrik 39
4.1.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kamar 1 41
4.1.3 Grafik dan Analisis Kamar 1 42
4.1.4 Sampel Identifikasi Beban NILM 44
4.1.5 Analisis Metode NILM Kamar 1 44
4.2 Hasil Pengukuran Kamar 2 47
4.2.1 Hasil Penjumlahan Data Pengukuran Kamar 2 48
4.2.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kamar 2 50
4.2.4 Sampel Identifikasi Beban NILM 54
4.2.5 Analisis Menggunakan Metode NILM Kamar 2 54
4.3 Hasil Pengukuran Kamar 3 56
4.3.1 Penjumlahan Data Hasil Pengukuran Kamar 3 57
4.3.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kamar 3 59
4.3.3 Grafik Hasil Pengukuran Kamar 3 60
4.3.4 Sampel Identifikasi Beban NILM 62
4.3.5 Analisis Metode NILM Kamar 3 63
BAB IV PENUTUP 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 69

DAFTAR TABEL

4.1 Tabel Data Pengukuran Kamar 1.....35
4.1.5 Tabel Analisi NILM. 41
4.2 Tabel Data Pengukuran Kamar 2.....42
4.2.5 Tabel Analisi NILM. 50
4.3 Tabel Data Pengukuran Kamar 3.....51
4.2.5 Tabel Analisi NILM. 58

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Peningkatan penggunaan peralatan listrik menyebabkan konsumsi energi juga semakin meningkat. Menurut Hart (1992), analisis konsumsi energi listrik dapat dilakukan menggunakan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM), yaitu metode yang mampu mengidentifikasi karakteristik penggunaan beban hanya dari satu titik pengukuran. Metode ini banyak dikembangkan untuk membantu analisis konsumsi energi tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan listrik.

Meskipun metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) telah banyak dikembangkan untuk mengidentifikasi pola penggunaan energi listrik, sebagian besar penelitian masih berfokus pada proses identifikasi jenis peralatan listrik (load disaggregation) serta pengembangan algoritma klasifikasi beban. Penerapan metode NILM untuk menganalisis indikasi beban lebih (overload) dan kemungkinan arus bocor (leakage current) berdasarkan data hasil pengukuran meteran listrik pada instalasi rumah tangga masih relatif terbatas, khususnya pada lingkungan rumah kos. Selain itu, sebagian besar penelitian memanfaatkan smart meter atau perangkat akuisisi data beresolusi tinggi, sedangkan pemanfaatan data hasil pengukuran menggunakan meteran listrik PLN yang dipadukan dengan pengukuran lapangan masih belum banyak dilakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh Kelly dan Knottenbelt (2015) menunjukkan bahwa metode NILM mampu mengidentifikasi pola penggunaan energi listrik berdasarkan perubahan daya dan arus sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi konsumsi energi listrik.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menerapkan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk menganalisis karakteristik konsumsi energi listrik pada tiga kamar kos berdasarkan parameter tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan meteran

listrik PLN dan tang ampere digital. Analisis dilakukan melalui perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik untuk mengidentifikasi pola penggunaan beban, memberikan indikasi beban lebih, serta mengidentifikasi kemungkinan adanya arus bocor secara tidak langsung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola konsumsi energi listrik serta menjadi referensi dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan pengelolaan instalasi listrik rumah tangga.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) menjadi salah satu alternatif yang efektif dalam menganalisis konsumsi energi listrik. Metode ini memungkinkan identifikasi pola penggunaan beban listrik melalui satu titik pengukuran tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan listrik. Menurut Hart (1992), metode NILM bekerja dengan menganalisis perubahan karakteristik sinyal listrik, seperti tegangan, arus, daya, dan energi, sehingga mampu menggambarkan perubahan pola operasi peralatan listrik berdasarkan data konsumsi energi secara keseluruhan. Seiring dengan perkembangannya, metode NILM telah banyak diterapkan untuk mengidentifikasi karakteristik penggunaan beban, menganalisis konsumsi energi listrik, serta mendukung upaya peningkatan efisiensi energi pada sektor rumah tangga maupun industri (Kelly & Knottenbelt, 2015; Zeifman & Roth, 2011). Selain itu, analisis terhadap perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik menggunakan metode NILM dapat memberikan indikasi awal terhadap kondisi penggunaan beban yang memerlukan analisis lebih lanjut, seperti indikasi beban lebih (overload) maupun kemungkinan adanya arus bocor (leakage current). Namun demikian, identifikasi arus bocor melalui metode NILM bersifat tidak langsung, sehingga hasil analisis perlu diverifikasi menggunakan alat ukur khusus, seperti Earth Leakage Clamp Meter atau insulation tester, untuk memastikan keberadaan arus bocor secara akurat.

Salah satu gangguan yang sering terjadi dan sulit terdeteksi secara langsung adalah arus bocor (leakage current). Arus bocor dapat muncul akibat penurunan kualitas isolasi kabel, peralatan listrik yang sudah berumur, maupun sistem pentanahan yang tidak memenuhi standar.

Menurut Wang et al. (2018), arus bocor umumnya memiliki nilai arus yang kecil, namun mengalir secara terus-menerus sehingga menyebabkan konsumsi energi listrik yang tidak produktif dan berpotensi menimbulkan bahaya keselamatan seperti panas berlebih dan kebakaran listrik.

Selain arus bocor, permasalahan lain yang sering terjadi pada instalasi listrik pelanggan adalah beban lebih (overload). Beban lebih terjadi ketika beberapa peralatan listrik berdaya besar dioperasikan secara bersamaan sehingga melebihi kapasitas instalasi yang tersedia. Liang et al. (2010) menyatakan bahwa kondisi overload dapat meningkatkan rugi-rugi daya, menurunkan efisiensi sistem, serta mempercepat kerusakan peralatan listrik dan komponen proteksi.

Pada praktiknya, pendeteksian arus bocor dan beban lebih masih banyak dilakukan menggunakan metode konvensional, seperti pengukuran langsung dengan alat ukur atau pemeriksaan peralatan satu per satu. Metode ini dinilai kurang efektif karena memerlukan waktu, biaya, serta keahlian teknis khusus. Selain itu, metode konvensional tidak mampu memberikan informasi pola konsumsi energi secara menyeluruh dan berkelanjutan.

Kelly dan Knottenbelt (2015) menjelaskan bahwa keterbatasan metode konvensional menjadi hambatan Seiring dengan perkembangan teknologi pengolahan sinyal dan sistem cerdas, muncul metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) sebagai solusi alternatif dalam analisis konsumsi energi listrik.

Metode NILM pertama kali diperkenalkan oleh Hart (1992), yang memungkinkan identifikasi dan pemisahan beban peralatan listrik hanya dengan menggunakan data dari satu titik pengukuran, yaitu meteran listrik utama, tanpa perlu memasang sensor tambahan pada setiap peralatan Metode NILM bekerja dengan menganalisis karakteristik sinyal listrik seperti daya aktif, daya reaktif, arus, serta perubahan pola konsumsi energi listrik. Zoha et al.

Zoha et al. (2012) menjelaskan bahwa metode NILM terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu pengambilan data konsumsi energi, deteksi perubahan beban (event detection), ekstraksi karakteristik (feature extraction), dan identifikasi jenis beban (load identification). Keakuratan identifikasi sangat dipengaruhi oleh kualitas data pengukuran, interval pengambilan data, serta karakteristik peralatan listrik yang digunakan. Dengan demikian, metode NILM tidak hanya digunakan

untuk mengetahui konsumsi energi listrik, tetapi juga mampu memberikan informasi mengenai perubahan pola penggunaan beban berdasarkan karakteristik arus dan daya yang diukur.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, metode NILM umumnya digunakan untuk mengidentifikasi jenis peralatan listrik dan menganalisis konsumsi energi pada bangunan menggunakan data dari *smart meter* atau sistem pemantauan beresolusi tinggi. Namun, penelitian mengenai penerapan metode NILM menggunakan data hasil pengukuran meteran listrik PLN pada lingkungan rumah kos masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian yang mengkaji hubungan antara perubahan karakteristik konsumsi energi listrik dengan indikasi beban lebih dan kemungkinan adanya arus bocor berdasarkan hasil pengukuran lapangan juga masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan metode NILM untuk menganalisis karakteristik konsumsi energi listrik berdasarkan parameter tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik pada tiga kamar kos sehingga diperoleh informasi mengenai pola penggunaan beban listrik serta indikasi perubahan kondisi konsumsi energi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik konsumsi energi listrik berdasarkan hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik?
2. Bagaimana penerapan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM**)** dalam menganalisis pola konsumsi energi listrik berdasarkan data hasil pengukuran?
3. Bagaimana hubungan penggunaan beban listrik terhadap peningkatan daya dan konsumsi energi listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik berdasarkan hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik.
2. Menerapkan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk

menganalisis pola penggunaan beban listrik..

3. Menganalisis pengaruh penggunaan beberapa beban listrik terhadap peningkatan daya dan konsumsi energi listrik.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini terarah dan tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada instalasi listrik tiga kamar kost yang menjadi objek pengukuran.
2. Parameter yang diamati meliputi tegangan (Volt), arus (Ampere), frekuensi (Hertz), daya (Watt), dan energi listrik (kWh).
3. Data diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan tang ampere digital dan meter listrik PLN.
4. Perhitungan daya dilakukan menggunakan persamaan $P = V \times I$, dengan asumsi faktor daya ($\cos \varphi$) = 1.
5. Perhitungan energi listrik dilakukan berdasarkan hasil perhitungan daya dan lama waktu penggunaan beban.
6. Pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel dalam bentuk tabel dan grafik.
7. Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk mengetahui pola penggunaan beban listrik
8. Penelitian difokuskan pada analisis karakteristik konsumsi energi listrik dan tidak membahas perancangan perangkat keras maupun pengembangan algoritma NILM.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam sebuah penelitian, terdapat poin-poin manfaat yang dapat diterapkan oleh pembaca agar berguna dan menjadi pedoman. Adapun manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah:

1. Bagi Universitas

   Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa maupun peneliti lain yang akan melakukan penelitian mengenai analisis konsumsi energi listrik menggunakan metode Non-Intrusive Load

Monitoring (NILM).

2. Bagi Perusahaan

   Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola penggunaan energi listrik sehingga masyarakat dapat menggunakan energi listrik secara lebih efisien dan mengurangi pemborosan energi.

3. Bagi Penulis

   Penelitian ini dapat menambah wawasan serta pengalaman dalam melakukan pengukuran parameter listrik, pengolahan data, perhitungan daya dan energi listrik, serta penerapan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk menganalisis konsumsi energi listrik.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Tinjauan pustaka merupakan tahapan penting dalam penelitian yang bertujuan untuk memperoleh landasan teori dan metode yang relevan dengan permasalahan yang dikaji. Proses ini dilakukan dengan menelusuri dan menganalisis berbagai penelitian terdahulu terkait pemantauan konsumsi energi listrik, arus bocor, dan beban lebih, kemudian digunakan sebagai dasar agar penelitian ini memiliki kekuatan ilmiah yang lebih baik.

Schirmer dan Mporas (2022) menjelaskan bahwa metode NILM dapat dimanfaatkan untuk memantau konsumsi energi listrik setiap peralatan dengan menganalisis data konsumsi energi total yang diperoleh dari meter listrik utama. Informasi yang dihasilkan dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi, mendeteksi pola konsumsi listrik, serta membantu pengguna dalam mengelola pemakaian energi secara lebih efektif. Selain itu, metode NILM juga dinilai memiliki biaya implementasi yang lebih rendah dibandingkan metode Intrusive Load Monitoring (ILM) karena tidak memerlukan pemasangan sensor pada setiap beban listrik.

Mari, Bucci, Ciancetta, Fiorucci, dan Fioravanti (2022) dalam jurnal Energies melalui artikel A Review of Non-Intrusive Load Monitoring Applications in Industrial and Residential Contexts menjelaskan bahwa penerapan NILM tidak hanya digunakan pada rumah tangga, tetapi juga pada bangunan komersial dan sektor industri. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis parameter seperti arus, tegangan, dan daya dapat digunakan untuk mengetahui kondisi operasi beban listrik serta mendukung program efisiensi penggunaan energi.

Kaselimi, Protopapadakis, Voulodimos, Doulamis, dan Doulamis (2022) dalam jurnal Sensors menerbitkan artikel berjudul Towards Trustworthy Energy Disaggregation: A Review of Challenges, Methods, and Perspectives for Non-Intrusive Load Monitoring. Penelitian tersebut membahas berbagai tantangan implementasi NILM pada kondisi nyata, seperti kualitas data pengukuran,

keandalan identifikasi beban, dan penerapan pada sistem monitoring energi. Hasil kajian menunjukkan bahwa NILM memiliki potensi besar sebagai teknologi pendukung sistem manajemen energi apabila didukung oleh data pengukuran yang baik.

Fortuna dan Buscarino (2022) dalam jurnal Sensors melalui artikel Non-Intrusive Load Monitoring menjelaskan bahwa prinsip dasar NILM adalah memisahkan konsumsi energi total menjadi karakteristik masing-masing beban berdasarkan perubahan parameter listrik yang terukur pada meter utama. Pendekatan ini memungkinkan pengguna memperoleh informasi mengenai pola penggunaan energi tanpa melakukan modifikasi pada instalasi listrik yang telah ada.

Penelitian yang dilakukan oleh Hart (1992) memperkenalkan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) sebagai teknik untuk mengidentifikasi penggunaan energi listrik setiap peralatan hanya dari satu titik pengukuran pada meter listrik. Metode ini memungkinkan analisis konsumsi energi dilakukan tanpa memasang sensor pada setiap beban listrik. Penelitian tersebut menjadi dasar berkembangnya berbagai penelitian mengenai analisis konsumsi energi listrik menggunakan metode NILM.

Penelitian relevan lainnya dilakukan oleh Hartanto & Nugroho (2022), yang fokus pada deteksi arus bocor dan beban lebih pada pelanggan industri kecil menggunakan metode NILM. Data yang digunakan berasal dari meteran listrik digital pelanggan. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode NILM mampu mendeteksi adanya beban berlebih dan arus bocor secara efektif tanpa perlu pemasangan sensor tambahan, serta dapat memperkirakan kontribusi setiap peralatan listrik terhadap konsumsi energi total. Zeifman & Roth (2011) juga meneliti metode NILM untuk memantau konsumsi energi di rumah tangga. Penelitian ini menekankan pentingnya ekstraksi fitur arus dan daya dari satu titik pengukuran, sehingga pola konsumsi peralatan individu dapat diidentifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NILM dapat menjadi alternatif yang efisien untuk monitoring energi secara non-intrusif, terutama dalam deteksi beban abnormal dan potensi arus bocor.

Penelitian lain dilakukan oleh Wijaya & Putra (2020), yang memanfaatkan data meteran digital pelanggan PLN untuk memodelkan konsumsi energi menggunakan metode NILM. Penelitian ini membuktikan bahwa pola konsumsi energi harian dan mingguan dapat digunakan untuk mendeteksi anomali, termasuk arus bocor dan beban lebih. Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan NILM pada data meteran pelanggan PLN dapat meningkatkan efisiensi energi dan membantu perusahaan dalam manajemen distribusi listrik.diferensial dalam melindungi transformator dari potensi kerusakan.

Selain itu, Kelly & Knottenbelt (2015) meneliti penerapan NILM dalam sistem distribusi listrik, dengan fokus pada identifikasi beban individual dan pemantauan efisiensi energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu mendeteksi peralatan yang mengkonsumsi daya secara berlebihan, memberikan dasar bagi strategi penghematan energi berbasis data, serta menurunkan risiko kerusakan peralatan akibat beban lebih atau arus bocor.

Konsumsi energi listrik pada rumah tangga dipengaruhi oleh karakteristik penggunaan beban listrik. Setiap peralatan listrik memiliki pola konsumsi energi yang berbeda sesuai dengan daya, lama waktu penggunaan, serta frekuensi pengoperasiannya. Perubahan penggunaan suatu peralatan akan menyebabkan perubahan karakteristik arus dan daya yang dapat diamati melalui hasil pengukuran pada meteran listrik utama. Karakteristik inilah yang dimanfaatkan oleh metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk mengidentifikasi pola penggunaan beban tanpa memerlukan sensor pada setiap peralatan listrik.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) merupakan metode yang efektif untuk menganalisis karakteristik konsumsi energi listrik berdasarkan data hasil pengukuran dari satu titik pengukuran. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada objek penelitian dan data yang digunakan. Penelitian ini menggunakan data hasil pengukuran langsung pada tiga kamar dengan parameter tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik. Selanjutnya, data tersebut dianalisis menggunakan pendekatan metode NILM untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik serta hubungan penggunaan beban terhadap peningkatan konsumsi energi listrik.

Penelitian Sari dkk. (2021) menganalisis konsumsi energi listrik rumah tangga menggunakan metode NILM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan menyebabkan peningkatan arus dan daya listrik yang berdampak langsung terhadap meningkatnya konsumsi energi listrik. Oleh karena itu, pemantauan pola penggunaan energi menjadi salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan listrik.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut dapat disimpulkan bahwa metode NILM merupakan pendekatan yang efektif untuk menganalisis karakteristik konsumsi energi listrik melalui satu titik pengukuran. Sebagian besar penelitian terdahulu menitikberatkan pada penerapan NILM sebagai sistem pemantauan konsumsi energi dan manajemen energi pada rumah tangga maupun bangunan. Adapun penelitian ini memiliki perbedaan karena menerapkan konsep NILM untuk menganalisis data hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik pada tiga kamar kos. Hasil analisis digunakan untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik serta memberikan indikasi awal terhadap kemungkinan terjadinya beban lebih (*overload*) dan arus bocor berdasarkan perubahan pola penggunaan beban.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi Listrik

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai aktivitas, baik di sektor rumah tangga, perkantoran, maupun industri. Energi listrik dihasilkan melalui proses konversi dari berbagai sumber energi, seperti tenaga air, uap, gas, maupun energi terbarukan. Dalam kehidupan sehari-hari, energi listrik digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan elektronik, seperti lampu, kipas angin, televisi, komputer, kulkas, rice cooker, dan peralatan listrik lainn.

Menurut Gonen (2014), energi listrik merupakan kemampuan sistem kelistrikan untuk melakukan kerja yang diperoleh dari hasil perkalian antara daya listrik dengan waktu penggunaan. Energi listrik menjadi parameter utama dalam menentukan besarnya konsumsi listrik suatu instalasi maupun biaya pemakaian

energi.

Besarnya energi listrik yang dikonsumsi dipengaruhi oleh besarnya daya listrik yang digunakan serta lamanya waktu pemakaian. Semakin besar daya suatu peralatan dan semakin lama waktu penggunaannya, maka semakin besar pula energi listrik yang dikonsumsi. Oleh karena itu, pengukuran dan analisis konsumsi energi listrik sangat penting untuk mengetahui pola penggunaan energi serta meningkatkan efisiensi pemakaian listrik.

Satuan energi listrik yang digunakan oleh perusahaan penyedia tenaga listrik adalah kilowatt-hour (kWh). Nilai energi listrik dapat dihitung berdasarkan hasil perkalian antara daya listrik dan waktu pemakaian, sehingga besarnya energi yang digunakan dapat diketahui sebagai dasar dalam perhitungan biaya pemakaian listrik.

Pada penelitian ini, analisis energi listrik dilakukan berdasarkan hasil pengukuran parameter listrik yang meliputi tegangan, arus, dan frekuensi. Selanjutnya dilakukan perhitungan daya dan energi listrik untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi pada objek penelitian.

Analisis energi listrik pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM). Melalui metode tersebut, perubahan konsumsi energi dapat dianalisis berdasarkan karakteristik perubahan daya yang terjadi akibat penggunaan berbagai peralatan listrik. Dengan demikian, pola konsumsi energi listrik dapat diketahui tanpa harus memasang alat ukur pada setiap peralatan yang digunakan.

Penggunaan energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aktivitas masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, pendidikan, perkantoran, maupun industri. Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya jumlah peralatan listrik, konsumsi energi listrik juga mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut menuntut adanya upaya pengelolaan energi yang lebih efisien agar penggunaan energi listrik dapat dikendalikan tanpa mengurangi kenyamanan pengguna. Menurut International Energy Agency (IEA, 2022), efisiensi energi merupakan salah satu langkah yang paling efektif dalam mengurangi pemborosan energi sekaligus meningkatkan keandalan sistem kelistrikan.

Dalam sektor rumah tangga, konsumsi energi listrik dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jumlah penghuni, jenis peralatan listrik yang digunakan, lama waktu penggunaan, serta kebiasaan pengguna dalam memanfaatkan energi listrik. Penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan dapat menyebabkan peningkatan daya dan arus yang mengalir pada instalasi listrik. Apabila kondisi tersebut terjadi secara terus-menerus tanpa memperhatikan kapasitas instalasi, maka dapat menimbulkan beban lebih (*overload*) yang berpotensi merusak peralatan listrik maupun instalasi.

Selain beban lebih, kondisi instalasi listrik juga perlu memperhatikan kemungkinan terjadinya arus bocor (leakage current). Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020, arus bocor merupakan arus yang mengalir melalui jalur yang tidak semestinya akibat kerusakan isolasi, kelembapan, kerusakan peralatan listrik, atau sistem pentanahan (*grounding*) yang kurang baik. Apabila tidak segera ditangani, arus bocor dapat meningkatkan risiko sengatan listrik dan kebakaran sehingga diperlukan pemantauan kondisi instalasi secara berkala.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau penggunaan energi listrik adalah Non-Intrusive Load Monitoring (NILM). Menurut Hart (1992), metode NILM memungkinkan identifikasi karakteristik penggunaan beban listrik melalui satu titik pengukuran pada meter listrik utama tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan listrik. Dengan memanfaatkan parameter seperti tegangan, arus, daya, dan energi listrik, metode ini mampu memberikan informasi mengenai pola konsumsi energi sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik.

Penerapan metode NILM pada penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai karakteristik konsumsi energi listrik pada rumah kos berdasarkan hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik. Selain mengetahui pola penggunaan energi listrik, hasil analisis juga diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai kemungkinan terjadinya beban lebih (*overload*) maupun arus bocor pada instalasi listrik sehingga dapat menjadi bahan evaluasi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan keselamatan instalasi listrik.

2.2.2 Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan beda potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik yang menyebabkan aliran arus listrik. Tegangan berfungsi sebagai gaya pendorong yang memungkinkan elektron mengalir dari satu titik ke titik lainnya sehingga peralatan listrik dapat beroperasi dengan baik.

Menurut Hayt dan Kemmerly (2019), tegangan listrik merupakan beda potensial antara dua titik yang menyebabkan elektron mengalir pada penghantar. Besarnya tegangan dipengaruhi oleh arus dan hambatan sesuai Hukum Ohm.

Dalam sistem tenaga listrik di Indonesia, tegangan nominal untuk instalasi rumah tangga umumnya sebesar 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Nilai tegangan yang stabil sangat penting untuk menjaga kinerja dan keandalan peralatan listrik. Tegangan yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat memengaruhi performa bahkan memperpendek umur peralatan listrik..

Satuan tegangan listrik adalah Volt (V). Pengukuran tegangan dilakukan untuk mengetahui kondisi suplai listrik pada saat pengambilan data sehingga dapat digunakan sebagai salah satu parameter dalam perhitungan daya listrik.

Pada penelitian ini, hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tegangan berada pada kisaran 220–222 Volt, sehingga masih berada pada kondisi yang relatif stabil dan sesuai untuk proses analisis konsumsi energi listrik

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa besarnya tegangan dipengaruhi oleh nilai arus yang mengalir dan hambatan pada rangkaian. Selain itu, dalam sistem tenaga listrik, tegangan juga berhubungan langsung dengan daya listrik. Apabila nilai arus meningkat sementara tegangan relatif tetap, maka daya listrik yang digunakan juga akan meningkat.

Stabilitas tegangan menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga kualitas sistem kelistrikan. Tegangan yang stabil menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik mampu menyalurkan energi dengan baik sehingga peralatan listrik dapat bekerja sesuai spesifikasinya. Sebaliknya, fluktuasi tegangan dapat memengaruhi efisiensi kerja peralatan dan menyebabkan konsumsi energi yang

tidak optimal.

Pada penelitian ini, tegangan diukur secara langsung menggunakan alat ukur pada instalasi listrik yang menjadi objek penelitian. Data tegangan digunakan bersama data arus untuk menghitung daya listrik, kemudian daya tersebut digunakan dalam perhitungan energi listrik. Oleh karena itu, pengukuran tegangan menjadi salah satu parameter penting dalam analisis konsumsi energi listrik menggunakan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM).

Berdasarkan hasil pengukuran pada penelitian ini, nilai tegangan berada pada kisaran 220–222 Volt. Nilai tersebut menunjukkan bahwa suplai tegangan relatif stabil dan masih berada di sekitar tegangan nominal sistem distribusi listrik rumah tangga di Indonesia. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan konsumsi energi listrik yang terjadi lebih dipengaruhi oleh perubahan penggunaan beban daripada perubahan nilai tegangan.

2.2.3 Arus Listrik

Menurut Alexander dan Sadiku (2017), arus listrik adalah laju aliran muatan listrik yang melewati suatu penghantar setiap satuan waktu. Arus menjadi parameter utama dalam menentukan besarnya daya yang dikonsumsi oleh suatu beban listrik.

Arus listrik merupakan aliran muatan listrik yang bergerak melalui suatu penghantar akibat adanya beda potensial atau tegangan. Aliran elektron tersebut mengalir dari titik yang memiliki potensial tinggi menuju titik yang memiliki potensial lebih rendah melalui media penghantar. Arus listrik menjadi salah satu parameter penting dalam sistem tenaga listrik karena berhubungan langsung dengan besarnya daya yang digunakan oleh suatu beban.

Besarnya arus listrik dipengaruhi oleh nilai tegangan dan hambatan pada suatu rangkaian. Hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dijelaskan melalui Hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus akan semakin besar apabila tegangan meningkat atau hambatan menurun.

Satuan arus listrik adalah Ampere (A), yang diambil dari nama ilmuwan André-Marie Ampère. Besarnya arus listrik dapat diukur menggunakan amperemeter maupun tang ampere digital. Tang ampere merupakan alat ukur yang

banyak digunakan karena mampu mengukur arus tanpa harus memutus rangkaian listrik, sehingga proses pengukuran menjadi lebih mudah dan aman

Dalam sistem instalasi listrik rumah tangga, besarnya arus yang mengalir sangat dipengaruhi oleh jumlah dan jenis peralatan listrik yang sedang digunakan. Apabila semakin banyak peralatan listrik yang beroperasi secara bersamaan, maka arus yang mengalir akan meningkat. Sebaliknya, apabila jumlah beban berkurang, nilai arus juga akan menurun.

Perubahan nilai arus sangat berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik. Pada kondisi tegangan yang relatif konstan, peningkatan arus akan menyebabkan daya listrik yang digunakan menjadi lebih besar. Oleh karena itu, pengukuran arus menjadi salah satu parameter utama dalam analisis konsumsi energi listrik.

Dalam penelitian ini, pengukuran arus dilakukan secara langsung menggunakan tang ampere digital pada instalasi listrik tiga kamar yang menjadi objek penelitian. Data arus yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam menghitung daya listrik serta energi listrik. Selanjutnya, data tersebut dianalisis menggunakan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) untuk mengetahui karakteristik penggunaan beban listrik berdasarkan perubahan nilai arus yang terjadi selama proses pengukuran.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai arus mengalami perubahan sesuai dengan jumlah dan jenis peralatan listrik yang digunakan pada masing-masing kamar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan arus memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan daya dan konsumsi energi listrik.

2.2.4 Frekuensi

Menurut Stevenson (1982), frekuensi merupakan jumlah siklus gelombang AC dalam satu detik dan dinyatakan dalam Hertz (Hz). Pada sistem tenaga listrik Indonesia digunakan frekuensi nominal sebesar 50 Hz.

Frekuensi merupakan jumlah siklus gelombang listrik bolak-balik (Alternating Current/AC) yang terjadi dalam satu detik. Frekuensi menunjukkan seberapa cepat arus listrik berubah arah secara periodik. Satuan frekuensi adalah Hertz (Hz), di mana 1 Hertz menyatakan satu siklus gelombang setiap detik..

Di Indonesia, sistem distribusi tenaga listrik menggunakan frekuensi standar sebesar 50 Hz. Nilai frekuensi ini ditetapkan agar seluruh peralatan listrik

dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang oleh pabrik pembuatnya. Frekuensi yang stabil menunjukkan bahwa sistem tenaga listrik berada dalam kondisi operasi yang baik.

Perubahan frekuensi dapat terjadi apabila terjadi ketidakseimbangan antara daya yang dibangkitkan dan daya yang dikonsumsi oleh beban. Apabila beban meningkat secara signifikan tanpa diimbangi peningkatan daya pembangkit, maka frekuensi cenderung mengalami penurunan. Sebaliknya, apabila daya pembangkit lebih besar daripada beban yang digunakan, frekuensi dapat meningkat

Dalam sistem tenaga listrik, kestabilan frekuensi menjadi salah satu indikator kualitas penyaluran energi listrik. Fluktuasi frekuensi yang terlalu besar dapat memengaruhi performa berbagai peralatan listrik, terutama motor listrik dan peralatan elektronik yang sensitif terhadap perubahan frekuensi.

Pada penelitian ini, frekuensi diukur bersamaan dengan parameter tegangan dan arus untuk mengetahui kondisi suplai listrik selama proses pengambilan data. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai frekuensi berada pada kisaran 49,8–50,0 Hz. Nilai tersebut menunjukkan bahwa frekuensi sistem relatif stabil dan masih berada pada kisaran frekuensi nominal sistem tenaga listrik di Indonesia. Oleh karena itu, perubahan konsumsi energi listrik yang terjadi pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh perubahan penggunaan beban dibandingkan perubahan frekuensi sistem.

2.2.4 Daya Listrik

Daya listrik merupakan besarnya energi listrik yang digunakan atau diubah oleh suatu peralatan listrik dalam setiap satuan waktu. Daya menunjukkan kemampuan suatu beban dalam menggunakan energi listrik selama beroperasi. Besarnya daya dipengaruhi oleh nilai tegangan dan arus yang mengalir pada rangkaian listrik.

Satuan daya listrik adalah Watt (W). Dalam sistem tenaga listrik, daya dibedakan menjadi daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Namun, pada penelitian ini pembahasan difokuskan pada daya aktif karena merupakan daya yang benar-benar digunakan oleh peralatan listrik untuk melakukan kerja. Secara umum, daya aktif dihitung menggunakan persamaan:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

cos φ = Faktor daya

Perhitungan tersebut digunakan karena objek penelitian berupa beban rumah tangga dengan pendekatan analisis sederhana berdasarkan data hasil pengukuran lapangan.

Besarnya daya listrik akan meningkat apabila nilai arus bertambah, sedangkan tegangan relatif tetap. Oleh karena itu, perubahan daya dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan penggunaan beban listrik pada suatu instalasi.

Dalam penelitian ini, daya listrik dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing kamar. Data daya kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui karakteristik penggunaan energi listrik pada setiap kondisi beban. Analisis perubahan daya menjadi salah satu dasar dalam penerapan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM).

2.2.6 Energi Listrik (kWh)

Energi listrik merupakan jumlah energi yang digunakan oleh suatu peralatan listrik selama periode waktu tertentu. Besarnya energi listrik bergantung pada daya listrik yang digunakan serta lama waktu pemakaian. Semakin besar daya dan semakin lama waktu penggunaan suatu peralatan listrik, maka semakin besar pula energi listrik yang dikonsumsi.

Satuan energi listrik yang digunakan dalam sistem ketenagalistrikan adalah kilowatt-hour (kWh). Satuan ini digunakan oleh perusahaan penyedia tenaga listrik sebagai dasar dalam menghitung biaya pemakaian listrik pelanggan. Energi listrik dapat dihitung menggunakan persamaan:

E = Energi listrik (kWh)

P = Daya listrik (Watt)

t = Lama waktu penggunaan (jam)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa energi listrik memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan daya listrik dan waktu penggunaan. Oleh karena itu, penggunaan peralatan listrik berdaya besar dalam waktu yang lama akan meningkatkan konsumsi energi listrik secara signifikan.

Dalam penelitian ini, nilai energi listrik dihitung berdasarkan hasil perhitungan daya serta lama waktu penggunaan masing-masing beban listrik. Hasil perhitungan energi kemudian digunakan untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik pada setiap kamar. Data tersebut juga menjadi dasar dalam membandingkan tingkat penggunaan energi antarobjek penelitian

Melalui pendekatan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai energi listrik dapat dianalisis berdasarkan perubahan daya yang terjadi selama proses pengukuran. Dengan demikian, pola konsumsi energi listrik dapat diketahui tanpa melakukan pengukuran pada setiap peralatan secara terpisah. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik penggunaan energi listrik sehingga dapat menjadi acuan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada instalasi listrik rumah tangga.

2.2.7 Meter Listrik PLN

Meter listrik PLN merupakan alat ukur yang digunakan untuk mencatat jumlah energi listrik yang dikonsumsi oleh pelanggan selama periode tertentu. Alat ini dipasang oleh PT PLN (Persero) pada setiap instalasi pelanggan sebagai dasar dalam pencatatan pemakaian energi listrik dan penentuan biaya rekening listrik. Seiring perkembangan teknologi, meter listrik yang digunakan telah mengalami perubahan dari meter analog menjadi meter digital dan meter prabayar yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi serta dilengkapi berbagai fitur pemantauan

Fungsi utama meter listrik adalah mengukur besarnya energi listrik yang digunakan oleh pelanggan dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Selain mencatat energi listrik yang telah digunakan, beberapa jenis meter listrik digital juga mampu menampilkan parameter kelistrikan lainnya, seperti tegangan (Volt), arus (Ampere), daya (Watt), frekuensi (Hertz), faktor daya (*power factor*), serta informasi lain yang berkaitan dengan kondisi sistem kelistrikan.

Secara umum, meter listrik bekerja dengan mengukur besarnya energi listrik yang mengalir dari jaringan distribusi menuju instalasi pelanggan. Pada meter analog, pengukuran dilakukan menggunakan piringan aluminium yang berputar sesuai dengan besarnya daya yang digunakan. Semakin besar daya yang dipakai oleh beban, semakin cepat putaran piringan sehingga energi listrik yang tercatat juga semakin besar. Sementara itu, pada meter digital proses pengukuran dilakukan

menggunakan rangkaian elektronik dan mikrokontroler yang menghitung besarnya energi listrik secara otomatis sehingga hasil pengukuran menjadi lebih akurat.

Energi listrik yang ditampilkan pada meter merupakan hasil akumulasi penggunaan daya listrik terhadap waktu. Oleh karena itu, apabila suatu peralatan listrik digunakan dengan daya yang besar dan dalam waktu yang lama, maka nilai energi listrik yang tercatat pada meter akan meningkat. Sebaliknya, apabila penggunaan beban listrik berkurang atau waktu pemakaian lebih singkat, maka pertambahan nilai energi listrik akan menjadi lebih kecil.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia, meter listrik PLN berfungsi sebagai batas antara jaringan milik penyedia tenaga listrik dengan instalasi milik pelanggan. Selain sebagai alat ukur energi listrik, meter juga berfungsi sebagai media pemantauan penggunaan listrik sehingga pelanggan dapat mengetahui besarnya konsumsi energi yang digunakan setiap periode.

Pada penelitian ini, meter listrik PLN digunakan sebagai salah satu sumber informasi untuk mengetahui kondisi penggunaan energi listrik pada objek penelitian. Data hasil pengukuran berupa tegangan, arus, dan frekuensi digunakan sebagai dasar dalam menghitung daya listrik dan energi listrik. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dianalisis menggunakan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik berdasarkan perubahan penggunaan beban.

Penggunaan meter listrik PLN pada penelitian ini memberikan keuntungan karena mampu menggambarkan kondisi nyata konsumsi energi listrik pada instalasi rumah tangga. Melalui data yang diperoleh dari pengukuran lapangan, analisis terhadap hubungan antara tegangan, arus, daya, dan energi listrik dapat dilakukan secara lebih akurat sehingga hasil penelitian dapat menggambarkan karakteristik konsumsi energi listrik pada objek yang diteliti.

Selain itu, data yang diperoleh dari meter listrik dapat digunakan sebagai dasar evaluasi penggunaan energi listrik. Dengan mengetahui besarnya konsumsi energi pada setiap kondisi beban, pengguna dapat melakukan pengaturan penggunaan peralatan listrik agar lebih efisien. Informasi tersebut juga dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam mengurangi pemborosan energi serta meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya penggunaan energi

listrik secara hemat dan efektif.

2.2.8 Non-Intrusive Load Monitoring (NILM)

Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) merupakan metode analisis konsumsi energi listrik yang digunakan untuk mengidentifikasi penggunaan peralatan listrik dari satu titik pengukuran, yaitu pada meter listrik utama, tanpa perlu memasang sensor pada setiap peralatan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Hart (1992) sebagai teknik untuk memisahkan konsumsi energi total menjadi konsumsi masing-masing peralatan berdasarkan karakteristik sinyal listrik yang diukur.

Berbeda dengan metode Intrusive Load Monitoring (ILM) yang memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan listrik, metode NILM hanya menggunakan data hasil pengukuran dari meter utama, seperti tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, frekuensi, maupun energi listrik. Selanjutnya data tersebut dianalisis untuk mengenali pola perubahan beban yang terjadi selama penggunaan energi listrik.

Penerapan NILM saat ini berkembang pesat karena mampu memberikan informasi mengenai karakteristik penggunaan energi tanpa memerlukan biaya instalasi sensor yang besar. Oleh karena itu, metode ini banyak diterapkan pada sistem manajemen energi rumah tangga, gedung, industri, maupun sistem smart grid.

Diperkenalkan oleh George W. Hart pada tahun 1992 melalui penelitian berjudul Nonintrusive Appliance Load Monitoring yang dipublikasikan dalam IEEE Proceedings. Hart menjelaskan bahwa konsumsi energi setiap peralatan listrik dapat diidentifikasi hanya dengan menggunakan data yang diperoleh dari meter listrik utama, tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan. Konsep ini menjadi dasar perkembangan metode NILM yang hingga saat ini banyak diterapkan dalam sistem pemantauan energi listrik.

Seiring berkembangnya teknologi pengukuran dan sistem tenaga listrik, metode NILM juga mengalami perkembangan yang cukup pesat. Pada awalnya, NILM hanya digunakan untuk mengidentifikasi perubahan beban berdasarkan nilai daya aktif. Saat ini, metode tersebut telah memanfaatkan berbagai parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, frekuensi, dan energi listrik

untuk menghasilkan analisis yang lebih baik. Selain pada rumah tangga, NILM juga telah diterapkan pada gedung perkantoran, industri, dan sistem smart grid sebagai bagian dari manajemen energi dan upaya peningkatan efisiensi penggunaan listrik.

Secara umum, proses analisis menggunakan metode NILM terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Pengambilan Data (Data Acquisition)

Data kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, dan energi diperoleh dari meter listrik utama.

2. Pengolahan Data (Data Processing)

Data hasil pengukuran diolah untuk mengetahui perubahan nilai arus, daya, dan energi selama proses pengamatan.

3. Identifikasi Perubahan Beban (Load Identification)

Perubahan nilai daya dan arus dianalisis untuk mengetahui adanya penambahan atau pengurangan beban listrik yang sedang digunakan.

4. Analisis Pola Konsumsi Energi

Hasil identifikasi digunakan untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik serta mengevaluasi kondisi penggunaan beban pada objek penelitian.

Pada penelitian ini, metode NILM diterapkan dengan menganalisis data hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik yang diperoleh dari meter listrik utama. Analisis dilakukan untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik pada tiga kamar kos serta memberikan indikasi awal terhadap kemungkinan terjadinya beban lebih (overload) dan arus bocor (leakage current)

2.2.9 Prinsip Kerja Metode NILM

Prinsip utama metode NILM adalah melakukan analisis terhadap perubahan karakteristik daya listrik yang muncul ketika suatu peralatan listrik dinyalakan atau dimatikan.

Ketika sebuah peralatan mulai beroperasi, akan terjadi perubahan nilai arus maupun daya pada meter utama. Perubahan tersebut disebut sebagai event atau kejadian perubahan beban. Setiap jenis peralatan memiliki karakteristik konsumsi daya yang berbeda sehingga menghasilkan pola yang berbeda pula.

Ketika setrika dinyalakan, meter utama akan menunjukkan kenaikan daya secara signifikan. Sebaliknya ketika setrika dimatikan, daya akan turun dengan nilai yang hampir sama. Perubahan inilah yang digunakan oleh metode NILM untuk mengidentifikasi keberadaan suatu beban

2.2.10 Penerapan NILM pada Penelitian Ini

Pada penelitian ini metode NILM digunakan untuk menganalisis karakteristik konsumsi energi listrik pada tiga kamar kost berdasarkan hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik yang diperoleh dari satu titik pengukuran.

Analisis dilakukan dengan mengamati perubahan nilai arus dan daya ketika terjadi penambahan maupun pengurangan penggunaan peralatan listrik, seperti lampu, kipas angin, charger, laptop, rice cooker, dan setrika. Setiap perubahan daya dibandingkan dengan kondisi sebelumnya sehingga dapat diketahui pola penggunaan beban yang terjadi.

Melalui pendekatan tersebut, metode NILM mampu memberikan informasi mengenai karakteristik konsumsi energi listrik tanpa memerlukan pemasangan alat ukur pada setiap peralatan. Hasil analisis ini selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi penggunaan energi listrik pada masing-masing kamar serta mengidentifikasi kemungkinan terjadinya beban berlebih berdasarkan perubahan nilai daya yang terukur.

2.2.11 Arus Bocor (Leakage Current)

Arus bocor (*leakage current*) merupakan arus listrik yang mengalir melalui jalur yang tidak seharusnya akibat kerusakan atau penurunan kualitas isolasi pada penghantar maupun peralatan listrik. Dalam kondisi normal, arus listrik hanya mengalir melalui penghantar menuju beban dan kembali ke sumber. Namun, apabila terjadi kerusakan isolasi, kelembapan, atau hubungan antara penghantar dengan bagian logam yang terhubung ke tanah (*ground*), sebagian arus akan mengalir keluar dari jalur normal sehingga disebut sebagai arus bocor.

Arus bocor umumnya memiliki nilai yang relatif kecil, tetapi apabila berlangsung terus-menerus dapat menyebabkan pemborosan energi listrik,

mempercepat kerusakan peralatan, serta meningkatkan risiko sengatan listrik maupun kebakaran. Menurut Wang dkk. (2018), arus bocor menjadi salah satu penyebab meningkatnya konsumsi energi listrik yang sering tidak disadari oleh pengguna karena tidak selalu memicu kerja sistem pengaman seperti Miniature Circuit Breaker (MCB).

Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya arus bocor antara lain:

1. Kerusakan isolasi kabel akibat usia pemakaian.
2. Kondisi lingkungan yang lembap.
3. Instalasi listrik yang tidak sesuai standar.
4. Kerusakan komponen elektronik.
5. Sistem pentanahan (*grounding*) yang kurang baik.

Pada instalasi rumah tangga, arus bocor dapat dikenali melalui peningkatan konsumsi energi listrik meskipun jumlah beban yang digunakan relatif tetap. Oleh karena itu, analisis pola konsumsi energi menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) dapat dimanfaatkan sebagai pendekatan awal untuk mengidentifikasi adanya indikasi arus bocor melalui perubahan karakteristik daya dan energi listrik yang tidak sesuai dengan pola penggunaan beban.

Dalam penelitian ini, arus bocor tidak diukur secara langsung menggunakan alat khusus seperti *Earth Leakage Clamp Meter*, tetapi dianalisis berdasarkan perubahan pola konsumsi daya dan energi yang diperoleh dari hasil pengukuran pada meter listrik utama. Apabila terdapat peningkatan konsumsi energi yang tidak sebanding dengan perubahan penggunaan beban, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya arus bocor pada instalasi listrik.

Selain menimbulkan potensi bahaya terhadap keselamatan, arus bocor juga dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi listrik secara tidak disadari karena sebagian energi terbuang akibat aliran arus yang tidak melalui jalur kerja normal. Oleh sebab itu, identifikasi indikasi arus bocor sejak dini menjadi penting sebagai langkah preventif untuk menjaga keamanan instalasi listrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Dalam penelitian ini, identifikasi arus bocor dilakukan berdasarkan analisis perubahan karakteristik konsumsi energi menggunakan metode NILM, sehingga hasil yang diperoleh berupa indikasi awal dan bukan pengukuran langsung terhadap arus bocor.

2.2.12 Beban Lebih (Overload)

Beban lebih (*overload*) merupakan kondisi ketika jumlah daya listrik yang digunakan oleh peralatan melebihi kapasitas penghantar maupun sistem instalasi listrik yang tersedia. Kondisi ini biasanya terjadi karena beberapa peralatan berdaya besar dioperasikan secara bersamaan sehingga menyebabkan arus yang mengalir meningkat secara signifikan.

Pada penelitian ini, kondisi beban lebih tidak ditentukan berdasarkan MCB yang trip ataupun kerusakan instalasi listrik, tetapi dianalisis berdasarkan peningkatan arus dan daya hasil pengukuran menggunakan metode NILM. Apabila terjadi kenaikan arus dan daya akibat penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan hingga mendekati kapasitas instalasi, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai indikasi beban lebih (overload).

Beban lebih (*overload*) tidak hanya menyebabkan meningkatnya konsumsi energi listrik, tetapi juga dapat menurunkan kualitas sistem kelistrikan akibat kenaikan suhu penghantar, penurunan efisiensi, serta mempercepat kerusakan pada komponen instalasi listrik. Oleh karena itu, pemantauan perubahan daya dan arus secara berkala diperlukan untuk mengetahui kecenderungan terjadinya beban lebih sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi gangguan pada sistem kelistrikan.

Menurut Standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), setiap instalasi listrik memiliki batas kemampuan hantar arus tertentu. Apabila arus yang mengalir melebihi batas tersebut dalam waktu yang cukup lama, maka suhu penghantar akan meningkat sehingga dapat menyebabkan kerusakan isolasi, penurunan umur peralatan, bahkan kebakaran.

Beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain:

- Penggunaan beberapa peralatan berdaya tinggi secara bersamaan.
- Kapasitas instalasi yang tidak sesuai dengan kebutuhan.
- Penambahan peralatan listrik tanpa memperhitungkan daya tersedia.
- Kerusakan pada sistem proteksi.

Gejala terjadinya beban lebih dapat dikenali melalui beberapa indikator, yaitu:

- Nilai arus meningkat secara signifikan.

- Nilai daya aktif bertambah besar.
- MCB sering trip.
- Kabel terasa panas.
- Tegangan mengalami sedikit penurunan akibat kenaikan arus.

Dalam penelitian ini, kondisi beban lebih dianalisis menggunakan metode NILM melalui perubahan nilai arus dan daya hasil pengukuran. Ketika beberapa peralatan seperti rice cooker, setrika, laptop, dan kipas angin digunakan secara bersamaan, nilai daya meningkat cukup besar dibandingkan kondisi normal. Perubahan tersebut menunjukkan karakteristik overload yang dapat diidentifikasi dari satu titik pengukuran tanpa pemasangan sensor pada setiap peralatan.

Analisis beban lebih menggunakan metode NILM memberikan keuntungan karena mampu memperkirakan kondisi penggunaan energi listrik secara cepat sehingga pengguna dapat melakukan pengaturan penggunaan beban untuk menghindari terjadinya overload.

Beban lebih (overload) merupakan kondisi ketika arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar melebihi Kemampuan Hantar Arus (KHA) dalam jangka waktu tertentu. Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020, kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan temperatur penghantar sehingga berisiko merusak isolasi kabel, menurunkan keandalan instalasi, bahkan menimbulkan kebakaran apabila tidak segera diatasi.

KHA adalah kemampuan maksimum suatu penghantar untuk mengalirkan arus listrik secara terus-menerus tanpa melebihi batas temperatur yang diizinkan. Oleh karena itu, pemilihan ukuran kabel harus disesuaikan dengan besarnya arus beban agar instalasi listrik tetap aman dan berfungsi dengan baik.

Untuk melindungi instalasi dari kondisi beban lebih, digunakan Miniature Circuit Breaker (MCB) sebagai alat pengaman. MCB akan memutus aliran listrik secara otomatis apabila arus yang mengalir melebihi arus nominal dalam waktu tertentu. Dengan demikian, MCB berfungsi mencegah kerusakan pada penghantar maupun peralatan listrik akibat terjadinya beban lebih.

Dalam penelitian ini, indikasi beban lebih dianalisis berdasarkan perubahan nilai arus dan daya hasil pengukuran menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM). Apabila nilai arus meningkat akibat penggunaan beberapa

peralatan listrik secara bersamaan hingga mendekati atau melebihi kapasitas instalasi, maka kondisi tersebut dapat menjadi indikasi terjadinya beban lebih (overload).

2.2.13 Pola Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga

Pola konsumsi energi listrik rumah tangga merupakan karakteristik penggunaan energi listrik berdasarkan jenis peralatan, waktu penggunaan, serta besarnya daya yang dikonsumsi. Setiap rumah tangga memiliki pola konsumsi yang berbeda bergantung pada aktivitas penghuni, jumlah peralatan listrik, serta lama waktu penggunaan.

Menurut International Energy Agency (IEA, 2022), sektor bangunan, termasuk rumah tangga, merupakan salah satu penyumbang terbesar konsumsi energi listrik di dunia. Peningkatan penggunaan perangkat elektronik seperti pendingin ruangan, rice cooker, televisi, komputer, dan peralatan rumah tangga lainnya menyebabkan kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu, pemantauan konsumsi energi listrik menjadi salah satu langkah penting untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi pemborosan, serta mendukung pengelolaan sistem kelistrikan yang lebih baik.

Secara umum konsumsi energi listrik dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu:

1. Besarnya daya peralatan listrik.
2. Lama waktu penggunaan.
3. Frekuensi penggunaan setiap hari.

Peralatan listrik dengan daya tinggi, seperti rice cooker, setrika, dispenser, dan pendingin ruangan, memberikan kontribusi konsumsi energi yang lebih besar dibandingkan peralatan berdaya rendah seperti lampu LED maupun charger telepon genggam.

Pada rumah kos, pola konsumsi energi listrik biasanya berubah mengikuti aktivitas penghuni. Pada pagi hari konsumsi energi relatif rendah karena sebagian besar penghuni beraktivitas di luar. Sebaliknya, pada sore hingga malam hari konsumsi energi meningkat akibat penggunaan lampu, kipas angin, laptop, rice

cooker, dan pengisian daya telepon genggam secara bersamaan.

Perubahan pola konsumsi energi tersebut menghasilkan perubahan nilai arus dan daya yang dapat diamati dari meter listrik utama. Dengan memanfaatkan metode NILM, perubahan tersebut dapat dianalisis untuk mengetahui karakteristik penggunaan beban listrik pada setiap periode pengamatan.

Dalam penelitian ini, pola konsumsi energi listrik dianalisis berdasarkan data hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi pada tiga kamar kost. Analisis dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan penggunaan beban dengan peningkatan konsumsi energi listrik serta mengidentifikasi kondisi penggunaan energi yang relatif tinggi.

Hasil analisis pola konsumsi energi diharapkan dapat menjadi dasar dalam penerapan strategi penghematan energi dan penggunaan listrik yang lebih efisien. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pola Konsumsi Energi Listrik

Pola konsumsi energi listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor yang menentukan besar kecilnya penggunaan energi pada suatu rumah tangga atau rumah kos. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1. Jumlah Penghuni

Semakin banyak jumlah penghuni, maka kebutuhan penggunaan peralatan listrik juga semakin meningkat sehingga konsumsi energi listrik cenderung lebih besar.

2. Jenis Peralatan Listrik

Peralatan dengan daya besar, seperti setrika, rice cooker, dan AC, mengonsumsi energi lebih banyak dibandingkan peralatan berdaya rendah seperti lampu LED atau charger.

3. Lama Waktu Penggunaan

Semakin lama suatu peralatan digunakan, semakin besar energi listrik yang dikonsumsi karena energi dipengaruhi oleh daya dan waktu pemakaian.

4. Kebiasaan Pengguna

Kebiasaan menggunakan peralatan listrik secara bijak, seperti mematikan peralatan yang tidak digunakan, dapat mengurangi konsumsi energi listrik.

5. Efisiensi Peralatan

Peralatan listrik yang memiliki efisiensi tinggi atau berlabel hemat energi

memerlukan konsumsi listrik yang lebih rendah dibandingkan peralatan yang kurang efisien.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, pola konsumsi energi listrik pada setiap rumah tangga atau rumah kos dapat berbeda-beda sesuai dengan aktivitas penghuni dan penggunaan peralatan listrik. Oleh karena itu, analisis pola konsumsi energi diperlukan untuk mengetahui karakteristik penggunaan listrik serta mendukung upaya penghematan energi.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Pengambilan data dilakukan sebanyak sepuluh kali dengan interval waktu satu jam mulai pukul 11.00 WIB sampai 20.00 WIB. Pemilihan waktu tersebut bertujuan untuk memperoleh variasi penggunaan beban listrik pada siang hingga malam hari sehingga perubahan karakteristik konsumsi energi dapat dianalisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM).

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

	Uraian	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 Sampai 3								
4	Seminar Proposal								
5	Penelitian dan Pengambilan Data								
6	Analisa Data								
7	Seminar Hasil								
8	Sidang								

3.2 Alat dan Perangkat Penelitian

Alat dan perangkat penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.2 Perangkat Penelitian

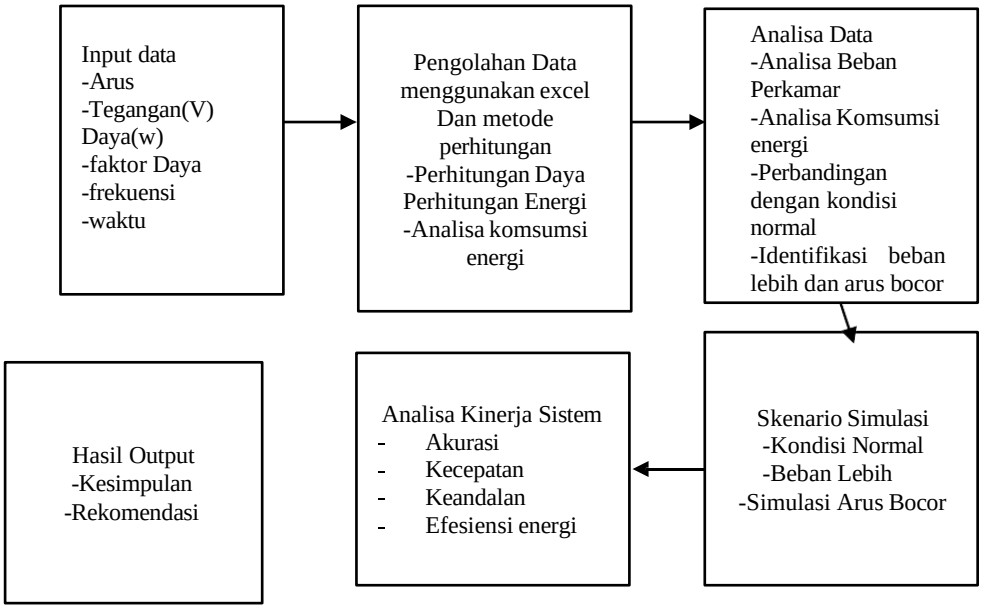
a) Laptop

Mengolah, menyimpan, dan menganalisis data meter listrik menggunakan perangkat lunak NILM.



Gambar 3.5 Laptop

3.3 Diagram Blok Penelitian



3.2.1 Alat Penelitian

a) Meteran Listrik PLN (kWh Meter Digital)

Alat ini berfungsi untuk mencatat konsumsi energi listrik pelanggan dalam satuan kilowatt-hour (kWh) serta parameter kelistrikan lainnya seperti arus,

tegangan, dan daya. nyata.



Gambar 3.1 Meter Listrik

b) Sensor Arus (Current Sensor)

Sensor digunakan untuk mengukur arus listrik sebagai input sistem analisis NILM untuk deteksi arus bocor dan beban lebih.



Gambar 3. 1 Sensor Arus

c) Smartphone / Hp

Digunakan untuk mendokumentasikan proses penelitian dan hasil pengukuran.



Gambar 3. 2 Smartphone

d) Microsoft Excel

Digunakan untuk mengolah data, menghitung daya dan energi listrik, serta membuat tabel dan grafik hasil penelitian.

e) Alat Tulis dan Dokumentasi Penelitian

Meskipun sederhana, alat tulis dan media dokumentasi seperti buku catatan, kamera, atau smartphone tetap menjadi bagian penting dari peralatan penelitian dalam analisis data meter listrik menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILMi).

3.3.1 Penjelasan Dari Diagram Blok

Blok diagram di atas menggambarkan tahapan penelitian mulai dari pengambilan data, pengolahan data, analisis, hingga penyusunan kesimpulan dan saran.

Berikut penjelasan setiap poin:

1. Input Data (Data Meteran Listrik PLN)

   Tahap ini dilakukan pengukuran langsung menggunakan Tang Ampere Digital untuk memperoleh data arus, tegangan, daya, faktor daya, dan frekuensi sebagai data penelitian.

2. Pengolahan Data

   Data hasil pengukuran diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung daya, konsumsi energi (kWh), serta menyusun tabel dan grafik.

3. Analisis Data

Data yang telah diolah dianalisis untuk mengetahui kondisi penggunaan energi listrik berdasarkan nilai daya, konsumsi energi, faktor daya, dan frekuensi.

4. Perbandingan dengan Standar PLN Data

   Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar PLN untuk mengetahui apakah kondisi kelistrikan masih berada dalam batas normal.

5. Hasil Output

   ahap akhir menghasilkan kesimpulan penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai rekomendasi.

3.4 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian merupakan tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data penelitian hingga menghasilkan analisis dan kesimpulan. Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi literatur mengenai konsumsi energi listrik, parameter kelistrikan, dan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) sebagai dasar pelaksanaan penelitian.
2. Menentukan lokasi dan objek penelitian, yaitu instalasi listrik pada tiga kamar yang digunakan sebagai objek pengambilan data.
3. Menyiapkan alat dan bahan penelitian, meliputi tang ampere digital, meter listrik PLN, laptop, smartphone untuk dokumentasi, dan Microsoft Excel sebagai perangkat lunak pengolah data.
4. Memeriksa kondisi instalasi listrik dan memastikan seluruh peralatan ukur berfungsi dengan baik sebelum proses pengukuran dilakukan.
5. Melakukan pengukuran parameter listrik yang meliputi tegangan (V), arus (A), dan frekuensi (Hz) pada setiap objek penelitian menggunakan tang ampere digital.
6. Mencatat hasil pengukuran sebanyak 30 data, yang terdiri dari 10 kali pengukuran pada masing-masing kamar.
7. Mengolah data hasil pengukuran menggunakan Microsoft Excel untuk mempermudah proses perhitungan dan penyajian data.
8. Menghitung daya listrik berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus

menggunakan persamaan:

[P=V×I]

9. Menghitung energi listrik berdasarkan nilai daya dan waktu penggunaan menggunakan persamaan:

$$E = \frac{P\ X\ t}{1000}$$

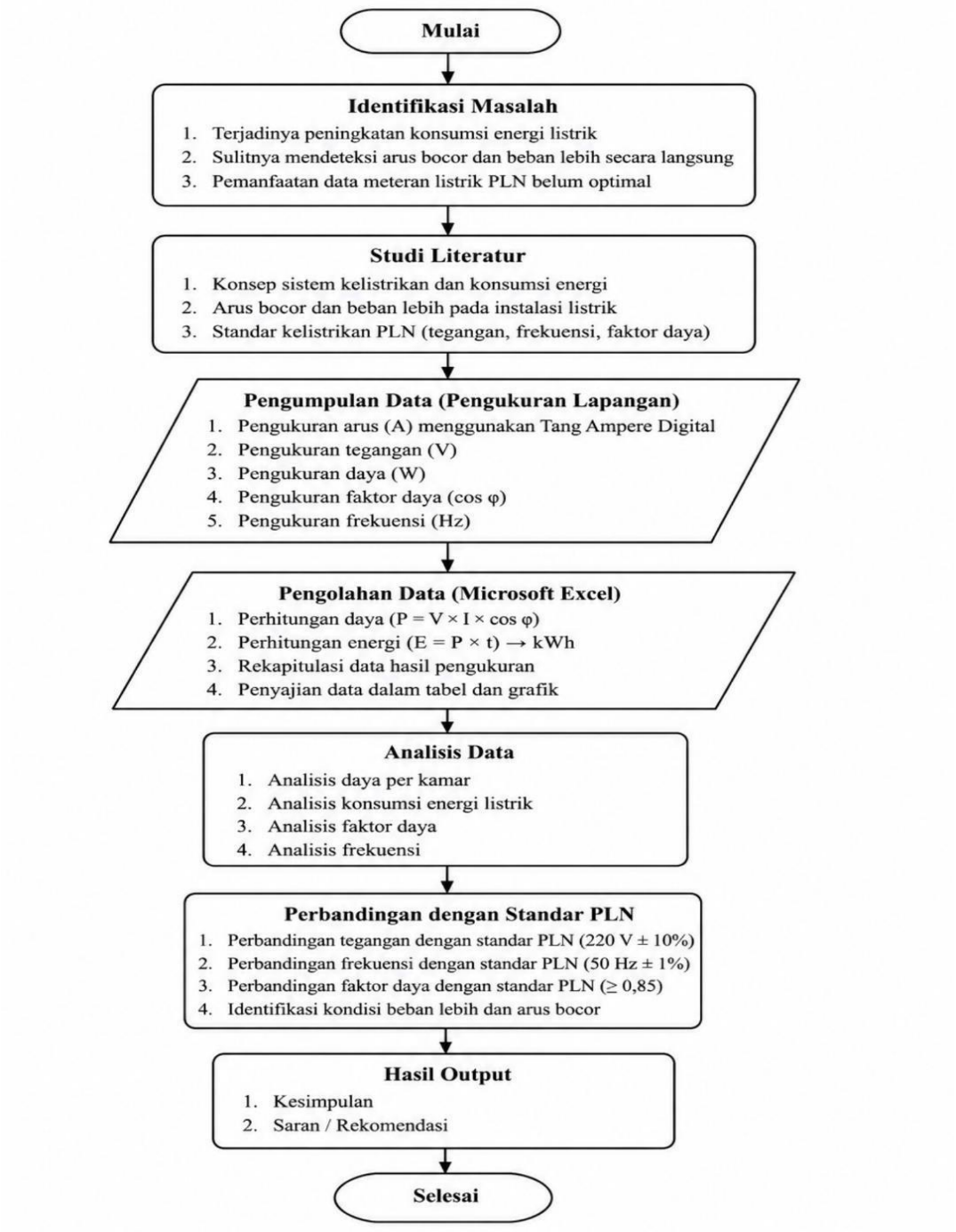
E = Energi listrik (kWh)

P = Daya listrik (Watt)

T = Lama waktu penggunaan (jam)

10. Menyajikan hasil pengolahan data dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses analisis.
11. Menganalisis karakteristik konsumsi energi listrik menggunakan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) berdasarkan perubahan nilai arus, daya, dan energi listrik.
12. Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis serta memberikan saran yang berkaitan dengan konsumsi energi listrik pada objek penelitian.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Penjelasan Dari Diagram Alir

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir di atas dalam bentuk poin-poin,antaranya:

1. Mulai

   Proses dimulai dengan pemahaman umum tentang masalah yang ada, yang kemudian mengarah pada langkah-langkah selanjutnya.

2. Identifikasi

   Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan terkait penggunaan energi listrik, seperti konsumsi energi yang tinggi dan perlunya mengetahui kondisi penggunaan energi listrik pada objek penelitian.

3. Studi Literatur

   Pada tahap ini dilakukan pengumpulan teori dan referensi yang berkaitan dengan sistem kelistrikan, konsumsi energi listrik, faktor daya, frekuensi, serta standar kelistrikan PLN sebagai dasar penelitian.

4. Pengumpulan Data

   Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung menggunakan Tang Ampere Digital. Data yang diperoleh meliputi arus (A), tegangan (V), daya (W), faktor daya (cos φ), dan frekuensi (Hz).

5. Pengolahan Data

   Data hasil pengukuran diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung daya, konsumsi energi listrik (kWh), serta menyusun tabel dan grafik sebagai bahan analisis.

6. Analisis Data

   Data yang telah diolah kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik penggunaan energi listrik berdasarkan nilai daya, konsumsi energi, faktor daya, dan frekuensi pada setiap kamar.

7. Perbandingan dengan Standar PLN

   Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar PLN untuk mengetahui apakah nilai tegangan, frekuensi, dan faktor daya masih berada dalam batas yang diperbolehkan.

8. Hasil dan Kesimpulan

   Tahap akhir penelitian menghasilkan kesimpulan berdasarkan hasil analisis serta memberikan saran sebagai rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik maupun sebagai acuan penelitian selanjutnya.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Kamar 1

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Kamar 1

No	Hari	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Energi (kWh)	Beban
1	Minggu	11.00	223	0,54	50	120,42	0,12042	Kipas, lampu, rice cooker, charger
2	Minggu	12.00	220	0,36	50	79,2	0,0792	Kipas, rice cooker, lampu
3	Minggu	13.00	221	0,54	50	119,34	0,11934	Kipas, rice cooker, lampu, charger
4	Minggu	14.00	220	1,9	50	416,1	0,4161	Kipas, rice cooker, setrika
5	Minggu	15.00	220	1,8	50	387	0,387	Kipas, rice cooker, charger
6	Minggu	16.00	220	1,3	50	292,5	0,2925	Lampu, rice cooker, kipas, 2 charger
7	Minggu	17.00	223	1,16	50	258,68	0,25868	Laptop, kipas, rice cooker, charger

8	Minggu	18.00	222	2,23	50	495,95	0,49595	Rice cooker, kipas, setrika, charger
9	Minggu	19.00	222	0,23	50	51,08	0,05108	Lampu, 2 charger, kipas
10	Minggu	20.00	220	0,92	50	197,89	0,19789	Rice cooker, 2 charger, kipas

Berdasarkan Tabel 4.1, tegangan dan frekuensi pada Kamar 1 relatif stabil, sedangkan arus dan daya berubah sesuai dengan jumlah serta jenis beban yang digunakan. Daya tertinggi sebesar 495,95 W terjadi saat beberapa peralatan digunakan secara bersamaan, sedangkan daya terendah sebesar 51,08 W terjadi saat hanya beban ringan yang digunakan. Perubahan arus dan daya tersebut menunjukkan pola penggunaan beban yang dapat dianalisis menggunakan metode NILM.

4.1.1 Hasil Pengukuran Parameter Listrik

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Kamar 1 yang dilakukan sebanyak 10 kali, dilakukan penjumlahan terhadap setiap parameter pengukuran yang meliputi tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik. Hasil penjumlahan ini digunakan sebagai dasar dalam menghitung konsumsi energi harian dan bulanan serta sebagai data awal dalam analisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM).

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai tegangan berada pada kisaran 220–225 Volt sehingga masih tergolong stabil dan sesuai dengan tegangan nominal jaringan listrik rumah tangga. Nilai arus, daya, dan energi listrik mengalami perubahan pada setiap waktu pengukuran yang dipengaruhi oleh jumlah dan jenis peralatan listrik yang digunakan. Perubahan karakteristik tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk mengidentifikasi pola penggunaan beban listrik.

A. Perhitungan Jumlah Tegangan

$$\Sigma V = 223 + 220 + 221 + 220 + 220 + 220 + 223 + 222{,}4 + 222{,}1 + 220$$

$$\Sigma V = 2.205{,}6\ Volt$$

Berdasarkan hasil penjumlahan 10 kali pengukuran, diperoleh total tegangan sebesar 2.205,6 V. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kondisi tegangan selama proses pengukuran pada Kamar 1. Dari data tersebut terlihat bahwa tegangan relatif stabil dan masih berada di sekitar tegangan nominal sistem listrik.

B. Perhitungan Jumlah Arus

$$\Sigma I = 0{,}54 + 0{,}36 + 0{,}54 + 1{,}90 + 1{,}80 + 1{,}30 + 1{,}16 + 2{,}23 + 0{,}23 + 0{,}92$$

$$\Sigma I = 10{,}98\ Ampere$$

Total arus hasil pengukuran adalah 10,98 A. Perbedaan nilai arus pada setiap pengukuran menunjukkan perubahan jumlah dan jenis beban listrik yang sedang digunakan di Kamar 1

C. Perhitungan Jumlah Frekuensi

$$\Sigma f = 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50$$

$$\Sigma f = 500\ Hz$$

Hasil penjumlahan frekuensi sebesar 500 Hz menunjukkan bahwa frekuensi selama pengukuran relatif stabil pada kisaran 49,6–50 Hz, sehingga tidak terdapat perubahan frekuensi yang signifikan selama proses pengukuran.

D. Perhitungan Jumlah Daya

$$\Sigma P = 120{,}42 + 79{,}20 + 119{,}34 + 416{,}10 + 387{,}00 + 292{,}50 + 258{,}68 + 495{,}95 + 51{,}08 + 197{,}89$$

$$\Sigma P = 2.418{,}16\ Watt$$

Total daya yang diperoleh dari 10 kali pengukuran adalah 2.418,16 W. Besarnya daya berubah sesuai dengan kombinasi peralatan listrik yang digunakan. Ketika peralatan berdaya besar seperti rice cooker dan setrika digunakan bersamaan, nilai daya menjadi lebih tinggi.

e.Perhitungan Jumlah Energi

$$\Sigma E = 0{,}12042 + 0{,}07920 + 0{,}11934 + 0{,}41610 + 0{,}38700 + 0{,}29250 + 0{,}25868 + 0{,}49595 + 0{,}05$$

$$\Sigma E = 2{,}41816\ kWh$$

Hasil penjumlahan energi listrik sebesar 2,41816 kWh merupakan total energi yang tercatat selama 10 kali pengukuran pada Kamar 1. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung estimasi konsumsi energi harian dan bulanan.

4.1.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kamar 1

a. Perhitungan Konsumsi Energi Harian

$$Ehari = \Sigma E \times 24$$

$$= 2{,}41816 \times 24$$

$$= 58{,}03584\ kWh/hari$$

Berdasarkan hasil perhitungan, estimasi konsumsi energi listrik harian pada Kamar 1 adalah 58,03584 kWh/hari. Nilai ini diperoleh dengan memproyeksikan hasil pengukuran menjadi konsumsi selama 24 jam

b. Perhitungan Konsumsi Energi Bulanan

$$Ebulan = Ehari \times 30$$

$$= 58{,}03584 \times 30$$

$$= 1.741{,}0752\ kWh$$

Estimasi konsumsi energi selama 30 hari adalah 1.741,0752 kWh/bulan. Perhitungan ini merupakan proyeksi konsumsi energi bulanan berdasarkan estimasi konsumsi energi harian.

c. Rata-rata Konsumsi Energi Bulanan

$$Erata - rata = \frac{1.741{,}0752}{10}$$

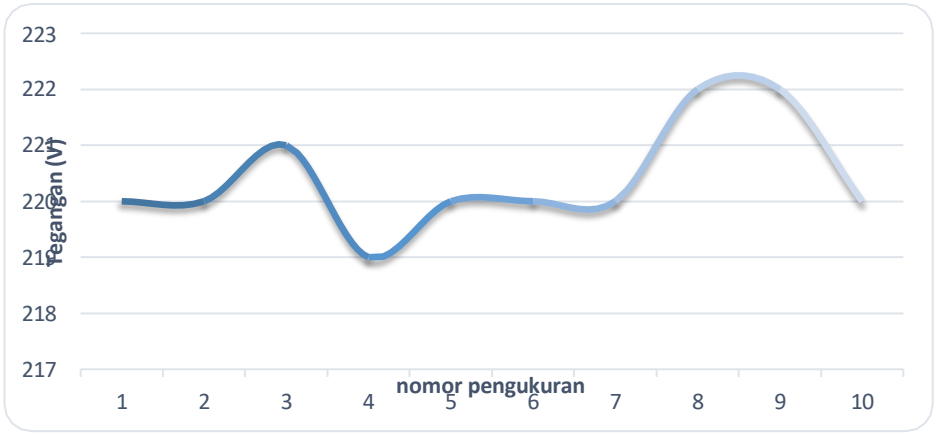
$$= \frac{174{,}11\ kWh}{bulan}$$

Berdasarkan hasil pembagian dengan jumlah pengukuran, diperoleh rata-rata konsumsi energi sebesar 174,11 kWh/bulan. Nilai ini digunakan sebagai

gambaran rata-rata konsumsi energi listrik pada Kamar 1 berdasarkan data pengukuran yang telah dilakukan

4.1.3 Grafik dan Analisis Kamar 1

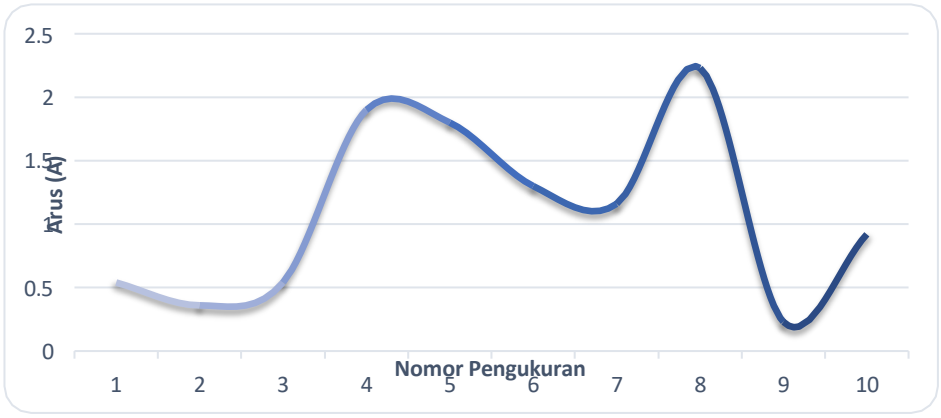
A. Grafik Tegangan



Gambar 4.1 Grafik Tegangan

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai tegangan pada Kamar 1 berada pada kisaran 220–225 Volt, sedangkan satu pengukuran menunjukkan nilai 222,4 Volt dan 222,1 Volt. Fluktuasi tegangan tersebut masih berada dalam batas normal sistem distribusi tegangan rendah PLN. Perubahan tegangan dipengaruhi oleh perubahan beban pada jaringan distribusi, jumlah pelanggan yang menggunakan listrik secara bersamaan, jarak pelanggan terhadap gardu distribusi, serta kondisi jaringan pada saat pengukuran. Oleh karena itu, perubahan tegangan yang terjadi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil analisis konsumsi energi listrik menggunakan metode NILM.

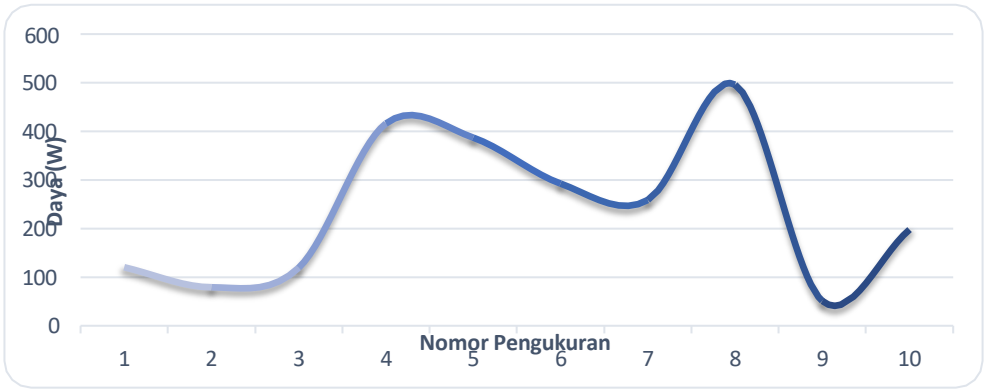
B. Grafik Arus



Gambar 4.1 Grafik Arus

Nilai arus pada Kamar 1 selama 10 kali pengukuran berada pada kisaran 0,23–2,23 A. Grafik menunjukkan bahwa arus mengalami perubahan pada setiap pengukuran sesuai dengan penggunaan beban listrik.

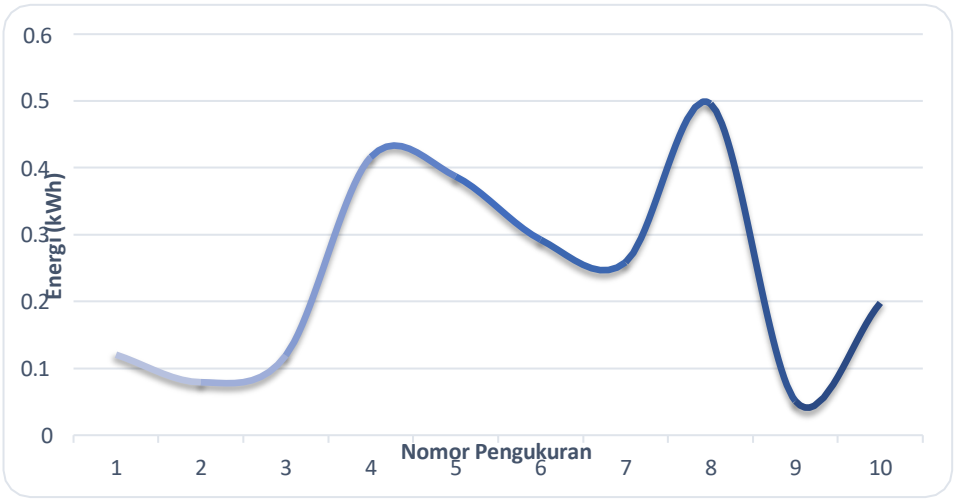
C.Grafik Daya



Gambar 4.3 Grafik Daya

Nilai daya pada Kamar 1 berada pada kisaran 51,08–495,95 W. Perubahan daya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis beban listrik yang digunakan. Semakin besar beban yang beroperasi, maka daya yang terukur juga semakin besar

E. Grafik Energi



Gambar 4.4 Grafik Energi

Berdasarkan Gambar 4.4, nilai energi pada Kamar 1 mengalami perubahan pada setiap pengukuran. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh lama waktu dan

penggunaan beban listrik, sehingga semakin besar daya yang digunakan maka konsumsi energi juga semakin meningkat.

4.1.4 Sampel Identifikasi Beban NILM

1. Penambahan beban setrika pada kondisi penggunaan rice cooker

Pada pengukuran pertama, nilai arus yang terukur sebesar 0,54 A dengan daya sebesar 120,42 W. Kondisi beban yang aktif terdiri dari kipas angin, lampu, dan charger.

Kemudian pada pengukuran keempat, terjadi peningkatan penggunaan beban dengan nilai arus sebesar 1,90 A dan daya sebesar 416,10 W. Pada kondisi tersebut, beban yang aktif terdiri dari rice cooker dan setrika.

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 416{,}10\,W - 120{,}42\,W$$

$$\Delta P = 295{,}68\,W$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, terjadi peningkatan daya sebesar 295,68 W. Peningkatan daya ini menunjukkan adanya penambahan beban dengan konsumsi daya besar, terutama setrika. Perubahan pola daya tersebut dapat digunakan sebagai indikator dalam mengidentifikasi karakteristik beban menggunakan metode NILM

4.1.5 Analisis Metode NILM Kamar 1

Tabel 4.1.5 Analisi Metode NILM

NO	Arus (A)	Daya (W)	Identifikasi Beban (NILM)
1	0,54	120,42	Kipas angin, lampu, charger
2	0,36	79,2	Lampu dan kipas angin
3	0,54	119,34	Kipas angin dan rice cooker

4	1,9	416,1	Rice cooker dan setrika
5	1,8	387	Rice cooker dan charger
6	1,3	292,5	Rice cooker dan kipas angin
7	1,16	258,68	Rice cooker, kipas angin, charger
8	2,23	495,95	Rice cooker, setrika, dan charger
9	0,23	51,08	Lampu dan charger
10	0,92	197,89	Rice cooker, kipas angin, dan charger

metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) digunakan untuk mengidentifikasi pola penggunaan beban listrik berdasarkan nilai arus dan daya yang diukur pada meter utama tanpa melakukan pengukuran langsung pada setiap peralatan listrik. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa perubahan nilai arus dan daya dipengaruhi oleh jumlah serta jenis beban yang beroperasi pada saat pengukuran. Semakin besar beban listrik yang digunakan, maka nilai arus dan daya yang terukur juga semakin meningkat. Dengan demikian, metode NILM mampu memberikan gambaran mengenai pola penggunaan beban listrik pada Kamar 1

1. Indikasi Arus Bocor

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai arus, daya, dan energi listrik menunjukkan adanya perubahan pola konsumsi energi yang dipengaruhi oleh penggunaan berbagai peralatan listrik. Apabila terdapat konsumsi energi yang tetap berlangsung meskipun tidak terjadi perubahan penggunaan beban secara signifikan, kondisi

tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya arus bocor.

Namun demikian, penelitian ini tidak melakukan pengukuran arus bocor secara langsung menggunakan Earth Leakage Clamp Meter maupun insulation tester. Oleh karena itu, hasil analisis yang diperoleh bukan merupakan pembuktian adanya arus bocor, melainkan indikasi berdasarkan perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik yang dianalisis menggunakan metode NILM.

2. Penjelasan indikasi arus bocor

Berdasarkan hasil identifikasi beban menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai arus dan daya menunjukkan adanya perubahan pola konsumsi energi listrik yang dipengaruhi oleh penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan. Pada kondisi tertentu, apabila konsumsi energi tetap terjadi meskipun tidak terdapat perubahan penggunaan beban yang signifikan, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya arus bocor.

Penelitian ini tidak melakukan pengukuran arus bocor secara langsung menggunakan Earth Leakage Clamp Meter atau insulation tester. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh bukan merupakan pembuktian adanya arus bocor, melainkan indikasi berdasarkan analisis perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik menggunakan metode NILM.

3. Kesimpulan Analisis Kamar 1

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai arus, daya, dan energi listrik pada Kamar 1 dipengaruhi oleh jumlah serta jenis peralatan listrik yang digunakan pada setiap waktu pengukuran. Nilai tegangan selama pengukuran relatif stabil pada kisaran 220–225 Volt, sedangkan perubahan arus dan daya menunjukkan adanya perubahan pola konsumsi energi sesuai dengan aktivitas penggunaan beban listrik.

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan arus hingga 2,23 A dan daya hingga 495,95 Watt terjadi ketika beberapa peralatan listrik digunakan secara bersamaan. Kondisi tersebut mengindikasikan peningkatan beban listrik dan dapat menjadi indikasi beban lebih (overload) apabila mendekati kapasitas instalasi listrik yang tersedia.

4.2 Hasil Pengukuran Kamar 2

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Kamar 2

No	Hari	Jam	Arus (A)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Energi (kWh)	Beban
1	Senin	11.00	1,10	220	50	246,51	0,2465	Rice cooker, charger 2, kipas, lampu
2	Senin	12.00	0,52	221,7	50	115,28	0,1153	Laptop, charger 2, kipas, lampu
3	Senin	13.00	2,30	219,5	50	504,85	0,5049	Laptop, charger, kipas, lampu, setrika
4	Senin	14.00	0,93	223,5	50	207,86	0,2079	Charger, kipas, lampu, rice cooker
5	Senin	15.00	0,93	220	50	203,21	0,2032	Charger, kipas, lampu
6	Senin	16.00	1,20	220	50	261,60	0,2616	Charger, kipas, lampu, laptop, rice cooker
7	Seni	17.00	2,40	220	50	518,40	0,5184	Charger,

	n							kipas, lampu, laptop, rice cooker, setrika
8	Senin	18.00	1,10	220	50	244,20	0,2442	Charger 2, kipas, lampu, rice cooker
9	Senin	19.00	0,45	219,0	50	98,55	0,09855	Charger, kipas, lampu,rice cooker
10	Senin	20.00	0,23	221,0	50	50,83	0,09855	Charger, kipas,lampu

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai tegangan dan frekuensi Kamar 2 relatif stabil, sedangkan arus dan daya mengalami perubahan sesuai penggunaan peralatan listrik. Daya tertinggi sebesar 518,40 W terjadi ketika beberapa peralatan digunakan secara bersamaan. Perubahan tersebut menunjukkan adanya perubahan pola beban yang dapat dianalisis menggunakan metode NILM.

4.2.1 Hasil Penjumlahan Data Pengukuran Kamar 2

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Kamar 2 yang dilakukan sebanyak 10 kali, dilakukan penjumlahan terhadap setiap parameter pengukuran yang meliputi tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi listrik. Hasil penjumlahan ini digunakan sebagai dasar dalam menghitung konsumsi energi harian dan bulanan serta sebagai data awal dalam analisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tegangan dan frekuensi relatif

stabil, sedangkan nilai arus, daya, dan energi listrik berubah sesuai dengan aktivitas penggunaan peralatan listrik. Data tersebut digunakan sebagai dasar analisis karakteristik konsumsi energi listrik menggunakan metode NILM.

A. Penjumlahan Tegangan (ΣV)

Perhitungan:

$$\Sigma V = 220 + 221{,}7 + 219{,}5 + 223{,}5 + 220 + 220 + 220 + 222 + 219 + 221$$

$$\Sigma V = 2.203{,}3\ V$$

Berdasarkan hasil penjumlahan 10 kali pengukuran, diperoleh total tegangan sebesar 2.203,3 V. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kondisi tegangan selama proses pengukuran pada Kamar 2. Dari data tersebut terlihat bahwa tegangan relatif stabil dan masih berada di sekitar tegangan nominal sistem listrik..

B. Penjumlahan Arus (ΣI)

Perhitungan:

$$\Sigma I = 1{,}10 + 0{,}52 + 2{,}30 + 0{,}93 + 0{,}93 + 1{,}20 + 2{,}40 + 1{,}10 + 0{,}45 + 0{,}23$$

$$\Sigma I = 11{,}16\ A$$

Total arus hasil pengukuran adalah 11,16 A. Perbedaan nilai arus pada setiap pengukuran menunjukkan perubahan jumlah dan jenis beban listrik yang sedang digunakan pada Kamar 2.

C. Penjumlahan Frekuensi (Σf)

Perhitungan:

$$\Sigma f = 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50$$

$$\Sigma f = 500\ Hz$$

Hasil penjumlahan frekuensi sebesar 500 Hz menunjukkan bahwa frekuensi selama pengukuran relatif stabil pada kisaran 49,7–500 Hz, sehingga tidak terdapat perubahan frekuensi yang signifikan selama proses pengukuran..

D. Penjumlahan Daya (ΣP)

Perhitungan:

$$\Sigma P = 246{,}51 + 115{,}28 + 504{,}85 + 207{,}86 + 203{,}21 + 261{,}60 + 518{,}40 + 244{,}20 + 98{,}55 + 50{,}8$$

$$\Sigma P = 2.451{,}29\ W$$

Total daya yang diperoleh dari 10 kali pengukuran adalah 2.451,29 W. Besarnya daya berubah sesuai dengan kombinasi peralatan listrik yang digunakan. Ketika peralatan berdaya besar seperti rice cooker dan setrika digunakan bersamaan, nilai daya menjadi lebih tinggi

E. Penjumlahan Energi (ΣE)

Perhitungan:

$$\Sigma E = 0{,}2465 + 0{,}1153 + 0{,}5049 + 0{,}2079 + 0{,}2032 + 0{,}2616 + 0{,}5184 + 0{,}2442 + 0{,}09855 + 0{,}05083$$

$$\Sigma E = 2{,}45138\ kWh$$

Hasil penjumlahan energi listrik sebesar 2,45138 kWh merupakan total energi yang tercatat selama 10 kali pengukuran pada Kamar 2. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung estimasi konsumsi energi harian dan bulanan.

4.2.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kamar 2

A. Berdasarkan hasil penjumlahan energi listrik dari 10 kali pengukuran pada Kamar 2, diperoleh total energi sebesar:.

$$Eharian = 0{,}2465 + 0{,}1153 + 0{,}5049 + 0{,}2079 + 0{,}2032 + 0{,}2616 + 0{,}5184 + 0{,}2442 + 0{,}09855$$

$$Eharian = 2{,}45138\ kWh/hari$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, estimasi konsumsi energi listrik harian pada Kamar 2 adalah 2,45138 kWh/hari. Nilai ini merupakan total konsumsi energi listrik yang diperoleh dari seluruh hasil pengukuran selama satu hari.

B. Perhitungan Konsumsi Energi Bulanan kamar 2

Perhitungan konsumsi energi listrik bulanan dilakukan dengan mengalikan

konsumsi energi harian dengan jumlah hari dalam satu bulan (30 hari). Perhitungannya sebagai berikut:

$$Ebulanan = 2{,}45138 \times 30$$

$$Ebulanan = 73{,}5414\ kWh/bulan$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, estimasi konsumsi energi listrik pada Kamar 2 adalah sebesar 73,5414 kWh/bulan. Nilai ini merupakan perkiraan konsumsi energi apabila pola penggunaan beban listrik setiap hari relatif sama seperti pada saat pengukuran dilakukan.

C. . Rata-rata Konsumsi Energi Bulanan

Rata-rata konsumsi energi bulanan dihitung dengan membagi estimasi konsumsi energi bulanan dengan jumlah hari dalam satu bulan.

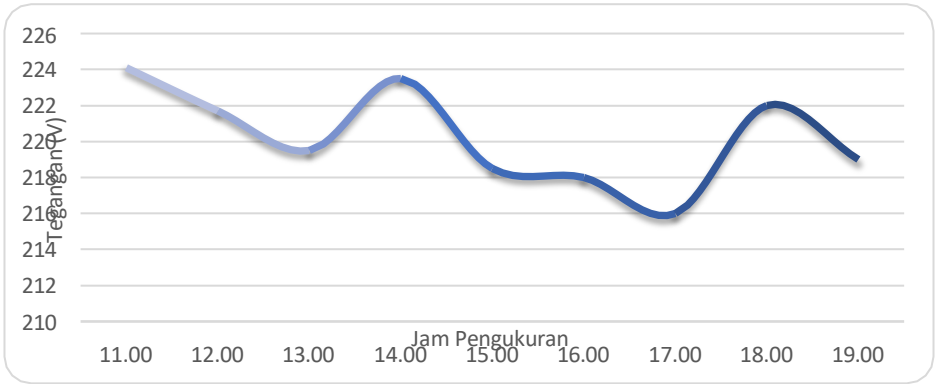
$$Rata - rata = \frac{73{,}5414}{30}$$

$$= 2{,}45138\ kWh/hari$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, rata-rata konsumsi energi listrik pada Kamar 2 adalah 2,45138 kWh per hari, yang setara dengan estimasi konsumsi energi bulanan sebesar 73,5414 kWh.

4.2.3 Grafik Hasil Pengukuran Kamar 2

A. Grafik Tegangan

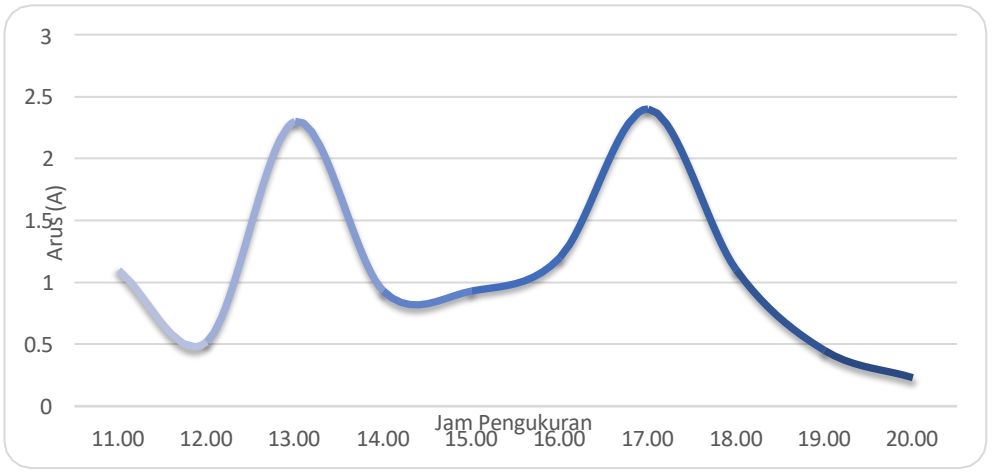


Gambar 4.2.1 Grafik Tegangan

Grafik tegangan Kamar 2 menunjukkan bahwa nilai tegangan selama pengukuran berada pada kisaran 216,0–224,1 V. Tegangan tertinggi terjadi pada pukul 11.00 sebesar 224,1 V, sedangkan tegangan terendah terjadi pada pukul 17.00

sebesar 216,0 V. Meskipun terjadi sedikit fluktuasi, nilai tegangan masih berada di sekitar tegangan nominal 220 V, sehingga kondisi tegangan pada Kamar 2 dapat dikatakan relatif stabil dan layak digunakan sebagai dasar analisis menggunakan metode NILM

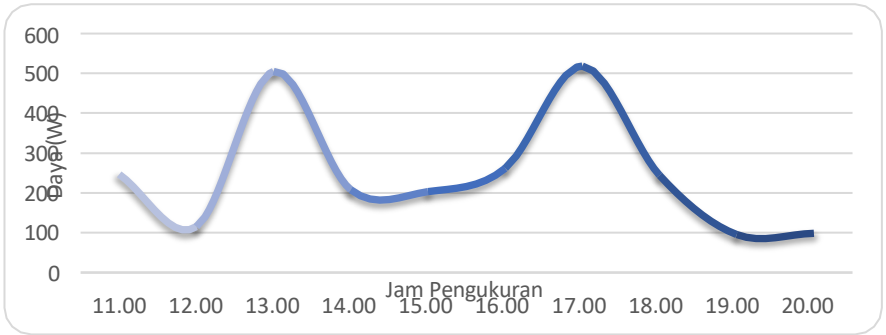
B. Grafik Arus



Gambar 4.2.2 Grafik Arus

Grafik arus Kamar 2 menunjukkan bahwa nilai arus selama pengukuran berada pada kisaran 0,23–2,40 A. Arus tertinggi terjadi pada pukul 17.00 sebesar 2,40 A, sedangkan arus terendah terjadi pada pukul 20.00 sebesar 0,23 A. Perubahan nilai arus dipengaruhi oleh jumlah dan jenis beban listrik yang digunakan. Semakin banyak peralatan listrik yang beroperasi secara bersamaan, seperti rice cooker, setrika, laptop, kipas, dan charger, maka nilai arus yang terukur semakin besar.

C.Grafik Daya

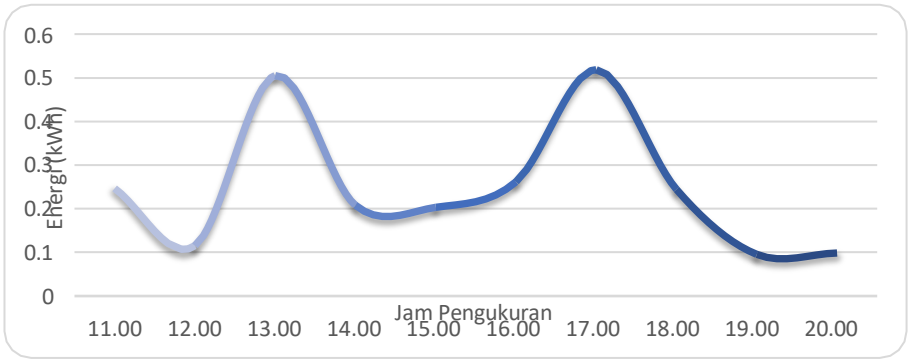


Gambar 4.2.3 Grafik Daya

Grafik daya Kamar 2 menunjukkan bahwa nilai daya selama pengukuran berada pada kisaran 95,40–518,40 W. Daya tertinggi terjadi pada pukul 17.00 sebesar 518,40 W, sedangkan daya terendah terjadi pada pukul 19.00 sebesar 95,40 W. Perubahan nilai daya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis beban listrik yang digunakan. Semakin banyak peralatan listrik yang beroperasi secara bersamaan, maka daya yang terukur akan semakin besar. Grafik ini menunjukkan bahwa penggunaan beban listrik pada Kamar 2 berubah-ubah sesuai dengan aktivitas penggunaan peralatan listrik selama waktu pengukuran..

Hasil ini juga mendukung penerapan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), di mana perubahan nilai daya dapat digunakan sebagai indikator untuk mengidentifikasi perubahan kondisi beban tanpa harus memasang sensor pada setiap peralatan listrik secara terpisah.

E.Grafik Energi



Gambar 4.2.4 Grafik Energi

Grafik energi Kamar 2 menunjukkan bahwa konsumsi energi selama pengukuran berada pada kisaran 0,0954–0,5184 kWh. Nilai energi tertinggi terjadi pada pukul 17.00 sebesar 0,5184 kWh, sedangkan nilai terendah terjadi pada pukul 19.00 sebesar 0,0954 kWh. Perubahan konsumsi energi dipengaruhi oleh jumlah dan jenis beban listrik yang digunakan. Semakin banyak peralatan listrik yang beroperasi secara bersamaan, maka konsumsi energi yang tercatat juga semakin besar. Grafik ini menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik di Kamar 2 berubah sesuai dengan aktivitas penggunaan peralatan listrik selama waktu pengukuran.

Hasil pengamatan ini juga menunjukkan bahwa pola perubahan konsumsi energi dapat dimanfaatkan dalam penerapan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM). Perubahan nilai energi yang terjadi pada setiap pengukuran

dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan beban listrik tanpa memerlukan alat ukur , sehingga karakteristik konsumsi energi setiap kondisi beban dapat dianalisis berdasarkan data darimeteran listrik

4.2.4 Sampel Identifikasi Beban NILM

1. Perubahan beban dari kondisi ringan ke kondisi dengan beban tambahan

Pada hari Senin pukul 13.00, nilai arus yang terukur sebesar 0,52 A dengan daya sebesar 115,28 W. Kondisi beban yang aktif terdiri dari laptop, dua charger, kipas, dan lampu.

Kemudian pada pukul 14.00 terjadi peningkatan arus menjadi 2,30 A dengan daya sebesar 504,85 W. Pada kondisi tersebut terdapat penambahan beban berupa setrika. Perubahan daya yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta P = P^2 - P^1$$

$$\Delta P = 504{,}85\,W - 115{,}28\,W$$

$$\Delta P = 389{,}57\,W$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, terjadi peningkatan daya sebesar 389,57 W. Peningkatan daya ini menunjukkan adanya penambahan beban dengan konsumsi daya yang cukup besar, yaitu setrika. Perubahan nilai daya tersebut menjadi indikator dalam identifikasi perubahan pola beban menggunakan metode NILM

4.2.5 Analisis Menggunakan Metode NILM Kamar 2

Tabel 4.2.5 Analis Metode NILM

N	Arus	Daya	Identifikasi Beban
1	0,54	120,42	Kipas angin, lampu,
2	0,36	79,20	Lampu dan kipas angin
3	0,54	119,34	Kipas angin dan rice
4	1,90	416,10	Rice cooker dan setrika
5	1,80	387,00	Rice cooker dan charger
6	1,30	292,50	Rice cooker dan kipas
7	1,16	258,68	Rice cooker, kipas angin,
8	2,23	495,95	Rice cooker, setrika, dan

9	0,23	51,08	Lampu dan charger,Kipas

Berdasarkan hasil analisis metode NILM pada Kamar 2, perubahan nilai arus dan daya menunjukkan adanya perbedaan pola penggunaan beban listrik. Nilai daya terendah sebesar 50,83 W terjadi ketika hanya terdapat beban ringan berupa charger, kipas, dan lampu. Sedangkan nilai daya tertinggi sebesar 518,40 W terjadi ketika beberapa beban dengan konsumsi daya besar aktif secara bersamaan, yaitu laptop, rice cooker, dan setrika.

Peningkatan daya yang signifikan menunjukkan adanya penambahan beban dominan yang dapat diidentifikasi melalui perubahan karakteristik listrik pada titik pengukuran utama. Hal ini menunjukkan bahwa metode NILM dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi penggunaan peralatan listrik tanpa melakukan pemasangan sensor pada setiap beban.

1. Indikasi Arus Bocor

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik pada Kamar 2 menunjukkan adanya variasi pola konsumsi energi sesuai dengan aktivitas penggunaan peralatan listrik. Apabila terdapat konsumsi energi yang tetap berlangsung tanpa adanya perubahan penggunaan beban yang signifikan, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya arus bocor.

Penelitian ini tidak melakukan pengukuran arus bocor secara langsung menggunakan Earth Leakage Clamp Meter maupun insulation tester. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh hanya menunjukkan indikasi berdasarkan hasil analisis perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik.

2. Penjelasan indikasi arus bocor

Berdasarkan hasil identifikasi beban menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai arus dan daya menunjukkan adanya perubahan pola konsumsi energi listrik yang dipengaruhi oleh penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan. Pada kondisi tertentu, apabila konsumsi energi tetap terjadi meskipun tidak terdapat perubahan penggunaan beban

yang signifikan, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya arus bocor.

3. Kesimpulan Analisis Kamar 2

Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan konsumsi energi listrik pada Kamar 2 dipengaruhi oleh variasi penggunaan beban listrik. Nilai tegangan dan frekuensi relatif stabil, sedangkan arus, daya, dan energi mengalami perubahan mengikuti pola penggunaan peralatan listrik. Metode NILM mampu mengidentifikasi perubahan karakteristik beban listrik dan memberikan indikasi beban lebih saat beberapa peralatan digunakan secara bersamaan. Indikasi arusbocor yang diperoleh bersifat awal dan memerlukan pengukuran langsung menggunakan alat ukur khusus untuk proses verifikasi.

4.3 Hasil Pengukuran Kamar 3

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Kamar 3

Hari	Jam	Arus (A)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Energi (kWh)	Beban
Senin	11.00	2,29	220	50	496,93	0,49693	Charger, kipas, lampu, rice cooker, laptop
Senin	12.00	1,3	218	50	283,4	0,2834	Charger, kipas, lampu, rice cooker (hangat)
Senin	13.00	0,47	220	50	103,4	0,1034	Charger, kipas, lampu, laptop
Senin	14.00	0,28	220	50	60,76	0,06076	Charger, kipas, lampu
Senin	15.00	2	223	50	446	0,446	Charger, kipas, rice cooker, setrika

Senin	16.00	0,43	222	50	95,46	0,09546	Charger 2, kipas, rice cooker
Senin	17..00	0,36	218	50	78,48	0,0785	Charger, kipas, rice cooker
Senin	18.00	1	220	50	216	0,216	Charger, kipas, rice cooker, laptop
Senin	19.00	0,46	220	50	101,2	0,1012	Charger, kipas, rice cooker
Senin	20.00	0,38	218	50	82,84	0,08284	Charger, kipas

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai tegangan dan frekuensi Kamar 3 relatif stabil, sedangkan arus dan daya berubah mengikuti penggunaan beban. Daya tertinggi sebesar 496,93 W terjadi saat beberapa peralatan digunakan secara bersamaan, sedangkan daya terendah sebesar 60,76 W terjadi saat beban yang digunakan lebih sedikit. Perubahan tersebut menunjukkan pola konsumsi listrik yang dapat dianalisis menggunakan metode NILM.

4.3.1 Penjumlahan Data Hasil Pengukuran Kamar 3

a. Penjumlahan Tegangan (ΣV)

Penjumlahan nilai tegangan dilakukan untuk mengetahui total tegangan hasil pengukuran pada Kamar 3 selama sepuluh kali pengambilan data penjumlahan nilai tegangan (ΣV) adalah:

$$\Sigma V = 220 + 218 + 220 + 220 + 223 + 222 + 220 + 220 + 220 + 220$$

$$\Sigma V = 2.189\ V$$

Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah tegangan pada Kamar 3 dari sepuluh kali pengukuran adalah 2.189 V. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan

selama pengukuran relatif stabil dan masih berada di sekitar tegangan nominal 220 V, sehingga dapat mendukung proses analisis konsumsi energi menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM).

B. Penjumlahan Arus (ΣI)

Perhitungan jumlah arus dilakukan dengan menjumlahkan seluruh data arus hasil pengukuran pada Kamar 3 sebagai berikut:

$$\Sigma I = 2{,}29 + 1{,}30 + 0{,}47 + 0{,}28 + 2{,}00 + 0{,}43 + 0{,}36 + 1{,}00 + 0{,}46 + 0{,}38$$

$$\Sigma I = 8{,}97\ A$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah arus pada Kamar 3 sebesar 8,97 A. Nilai tersebut menunjukkan bahwa arus listrik berubah sesuai dengan jumlah dan jenis beban yang digunakan selama proses pengukuran.

C. Penjumlahan Frekuensi (Σf)

Perhitungan jumlah frekuensi dilakukan dengan menjumlahkan seluruh data frekuensi hasil pengukuran pada Kamar 3 sebagai berikut:

$$\Sigma f = 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50 + 50{,}0 + 50$$

$$\Sigma f = 500\ Hz$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah frekuensi pada Kamar 3 sebesar 500 Hz. Nilai tersebut menunjukkan bahwa frekuensi selama proses pengukuran relatif stabil dan masih berada pada kisaran frekuensi nominal 50 Hz.

D. Penjumlahan Daya (W)

Perhitungan jumlah daya dilakukan dengan menjumlahkan seluruh data daya hasil pengukuran pada Kamar 3 sebagai berikut:

$$\Sigma P = 496{,}93 + 283{,}40 + 103{,}40 + 60{,}76 + 446{,}00 + 95{,}46 + 78{,}48 + 216{,}00 + 101{,}20 + 82{,}84$$

$$\Sigma P = 1.964{,}47\ W$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah daya pada Kamar 3 sebesar 1.964,47 W. Nilai tersebut menunjukkan bahwa daya listrik berubah sesuai dengan jumlah dan jenis beban yang digunakan selama proses pengukuran.

E. Penjumlahan Energi

Perhitungan jumlah energi dilakukan dengan menjumlahkan seluruh data energi hasil pengukuran pada Kamar 3 sebagai berikut:

$$\Sigma E = 0{,}49693 + 0{,}28340 + 0{,}10340 + 0{,}06076 + 0{,}44600 + 0{,}09546 + 0{,}07848 + 0{,}21600 + 0{,}10120 + 0{,}08284$$

$$\Sigma E = 1{,}96447\ kWh$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah energi pada Kamar 3 sebesar 1,96447 kWh. Nilai tersebut menunjukkan total konsumsi energi listrik selama proses pengukuran pada Kamar 3.

4.3.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kamar 3

A. Energi Listrik Harian Kamar 3

$$Eharian = 0{,}49693 + 0{,}28340 + 0{,}10340 + 0{,}06076 + 0{,}44600 + 0{,}09546 + 0{,}07850 + 0{,}21600 + 0{,}10120 + 0{,}08284$$

$$Eharian = 1{,}96449\ kWh/hari$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, konsumsi energi listrik harian pada Kamar 3 adalah sebesar 1,96449 kWh/hari. Nilai tersebut diperoleh dari hasil penjumlahan seluruh energi listrik pada 10 kali pengukuran yang dilakukan selama satu hari.

B. Perhitungan Konsumsi Energi Bulanan Kamar 3

Konsumsi energi bulanan dihitung berdasarkan rata-rata konsumsi energi harian yang kemudian dikalikan dengan jumlah hari dalam satu bulan. Pada penelitian ini diasumsikan satu bulan terdiri dari 30 hari.

Rata-rata konsumsi energi harian Kamar 3 adalah:

$$Ebulanan = Eharian \times 30$$

$$Ebulanan = 1{,}96449 \times 30$$

$$Ebulanan = 58{,}9347\ kWh/bulan$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, konsumsi energi listrik bulanan pada Kamar 3 adalah sebesar 58,9347 kWh/bulan. Nilai tersebut diperoleh dengan mengalikan konsumsi energi harian dengan jumlah hari dalam satu bulan (30 hari)
C. Rata-rata Konsumsi Energi Bulanan

$$Rata - rata \ = \ Ebulanan \ \div \ 10$$

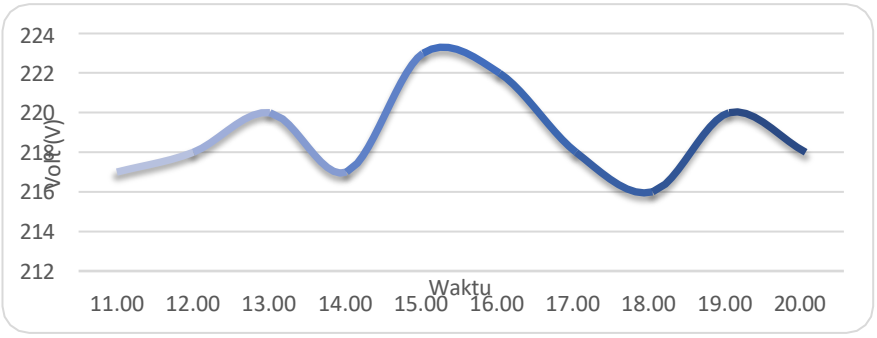
$$Rata - rata \ = \ 58{,}9347 \ \div \ 10$$

$$Rata - rata \ = \ 5{,}89347 \ kWh$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, rata-rata konsumsi energi listrik bulanan pada Kamar 3 adalah sebesar 5,89347 kWh.

4.3.3 Grafik Hasil Pengukuran Kamar 3

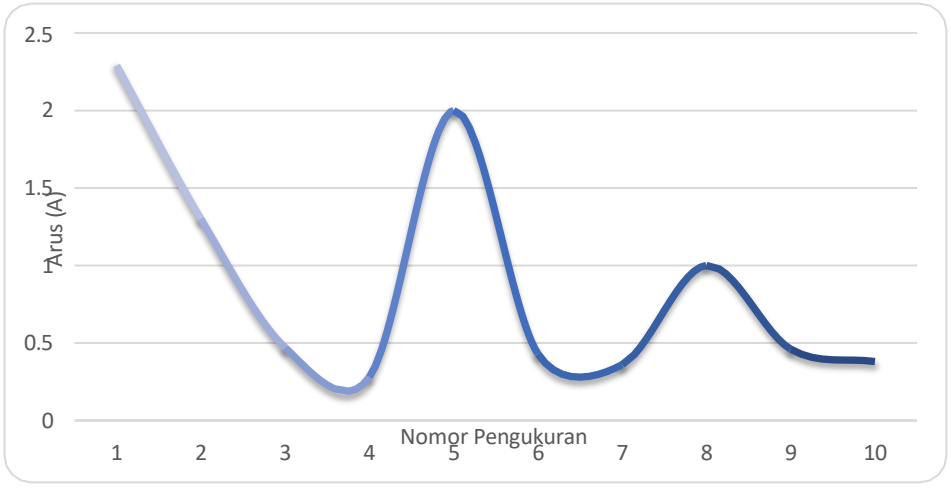
A. Grafik Tegangan Kamar 3



Gambar 4.3.1 Grafik Tegangan Kamar 3

Nilai tegangan pada Kamar 3 selama sepuluh kali pengukuran berada pada kisaran 216–223 V. Grafik menunjukkan bahwa tegangan mengalami fluktuasi yang relatif kecil dan masih berada di sekitar tegangan nominal 220 V. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada pengukuran ke-5 sebesar 223 V, sedangkan nilai terendah terjadi pada pengukuran ke-8 sebesar 216 V. Kondisi ini menunjukkan bahwa suplai tegangan pada Kamar 3 relatif stabil sehingga perubahan konsumsi daya lebih dipengaruhi oleh perubahan beban listrik daripada perubahan tegangan.

B. Grafik Arus Kamar 3

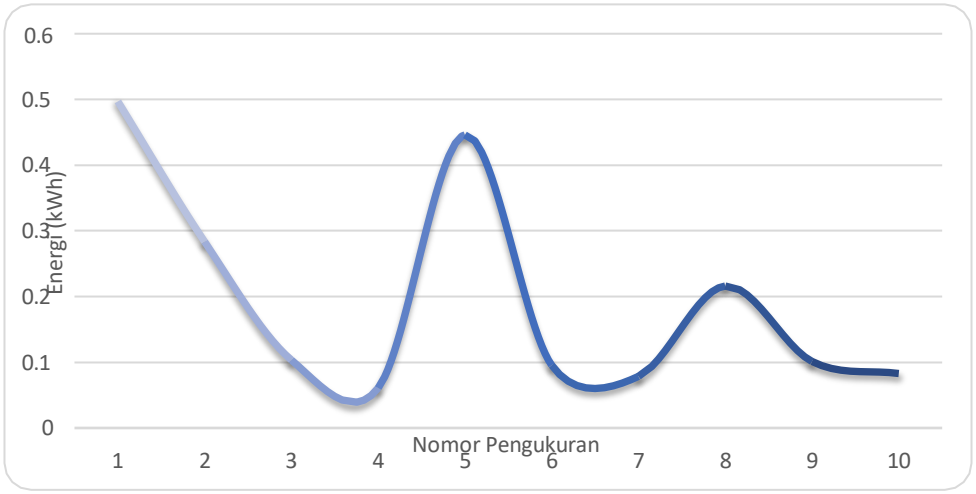


Gambar 4.3.2 Grafik Arus Kamar

Nilai arus tertinggi terjadi pada pukul 11.00 sebesar 2,29 A. Kondisi ini disebabkan oleh penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan, yaitu charger, kipas angin, lampu, rice cooker, dan laptop, sehingga arus yang mengalir menjadi lebih besar. Pada pukul 15.00, arus kembali meningkat hingga 2,00 A akibat penggunaan setrika bersama charger, kipas angin, dan rice cooker. Setrika merupakan beban dengan daya tinggi sehingga menyebabkan kenaikan arus yang cukup signifikan.

Secara keseluruhan, grafik arus menunjukkan bahwa semakin banyak peralatan listrik yang digunakan secara bersamaan, terutama peralatan dengan daya tinggi seperti rice cooker dan setrika, maka arus listrik yang mengalir juga semakin besar. Sebaliknya, ketika hanya beban dasar seperti charger, kipas angin, dan lampu yang digunakan, nilai arus cenderung rendah dan lebih stabil. Pola ini sesuai dengan hasil identifikasi menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), yang menunjukkan bahwa perubahan arus dapat digunakan untuk mengenali perubahan kombinasi beban listrik yang sedang beroperasi.

C. Grafik Daya Kamar 3



Gambar 4.3.3 Grafik Daya Kamar 3

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai energi pada Kamar 3 berada pada kisaran 0,06076 kWh hingga 0,49693 kWh. Grafik menunjukkan bahwa konsumsi energi berubah sesuai dengan penggunaan peralatan listrik pada setiap pengukuran.

Nilai energi tertinggi terjadi saat beberapa peralatan listrik digunakan secara bersamaan, sedangkan nilai energi terendah terjadi ketika hanya beban ringan yang beroperasi. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa semakin besar daya yang digunakan, semakin besar pula energi listrik yang dikonsumsi. Pola ini dapat dimanfaatkan dalam metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk menganalisis konsumsi energi berdasarkan perubahan beban listrik.

4.3.4 Sampel Identifikasi Beban NILM

Pada Kamar 3, sampel identifikasi beban dilakukan dengan membandingkan data pengukuran sebelum dan sesudah terjadi perubahan penggunaan peralatan listrik. Salah satu perubahan yang terlihat adalah pada pengukuran keempat dan kelima.

Pada pengukuran keempat, nilai arus yang terukur sebesar 0,28 A dengan tegangan 217 V dan daya sebesar 60,76 W. Beban yang aktif hanya berupa charger, kipas angin, dan lampu.

Pada pengukuran kelima, nilai arus meningkat menjadi 2,00 A dengan tegangan 223 V dan daya sebesar 446 W. Peningkatan ini terjadi karena adanya penambahan beban berupa rice cooker dan setrika.

Perubahan daya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 446\,W - 60{,}76\,W$$

$$\Delta P = 385{,}24\,W$$

Hasil perhitungan menunjukkan adanya peningkatan daya sebesar 385,24 W. Kenaikan daya tersebut mengindikasikan adanya penambahan beban listrik berdaya besar, khususnya setrika. Berdasarkan perubahan karakteristik arus dan daya tersebut, metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) mampu mengidentifikasi perubahan penggunaan peralatan listrik tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap beban. Dengan demikian, metode NILM mampu mengidentifikasi perubahan penggunaan peralatan listrik hanya berdasarkan data arus dan daya dari satu titik pengukuran, tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan. Pendekatan ini memudahkan analisis pola konsumsi energi listrik serta membantu mengenali penggunaan beban dominan pada instalasi listrik rumah tangga.

4.3.5 Analisis Metode NILM Kamar 3

Tabel 4.3.5 Analisi NILM

N	Wakt	Beban	Daya (W)
1	11.00	Charger	496,93
2	12.00	Charger	283,40
3	13.00	Charger	103,40
4	14.00	Charger	60,76
5	15.00	Charger	446,00
6	16.00	Dua	95,46
7	17.00	Charger	78,48
8	18.00	Charger	216,00
9	19.00	Charger	101,20

Berdasarkan hasil identifikasi menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai arus dan daya pada Kamar 3 menunjukkan

adanya perubahan penggunaan peralatan listrik pada setiap waktu pengukuran. Nilai daya tertinggi sebesar 496,93 W terjadi ketika beberapa peralatan listrik digunakan secara bersamaan, sedangkan nilai daya terendah sebesar 60,76 W terjadi saat hanya beban ringan yang beroperasi.

Metode NILM mampu mengenali perubahan penggunaan beban berdasarkan karakteristik arus dan daya yang terukur tanpa memerlukan sensor pada setiap peralatan. Dengan demikian, pola konsumsi listrik pada Kamar 3 dapat dianalisis secara efektif melalui perubahan nilai arus dan daya selama proses pengukuran.

Berdasarkan hasil pengukuran pada hari Selasa pukul 11.00–20.00, diperoleh bahwa perubahan daya listrik dipengaruhi oleh jumlah serta jenis beban yang digunakan secara bersamaan. Beban dengan konsumsi daya terbesar teridentifikasi ketika charger, kipas angin, lampu, rice cooker, dan laptop digunakan secara bersamaan pada pukul 11.00, menghasilkan daya sebesar 496,93 W. Nilai daya yang tinggi juga terdeteksi pada pukul 15.00 sebesar 446 W, yang menunjukkan adanya penggunaan setrika bersama charger, kipas angin, dan rice cooker.

Pada pukul 12.00, daya menurun menjadi 283,4 W karena rice cooker hanya berada pada mode menghangatkan, sehingga konsumsi energinya lebih rendah dibandingkan saat proses memasak. Selanjutnya, pada pukul 13.00–14.00, daya turun hingga 103,4 W dan 60,76 W karena hanya terdapat beban ringan seperti charger, kipas angin, lampu, dan laptop. Kondisi ini menunjukkan karakteristik konsumsi energi dasar (base load) pada kamar.

Mulai pukul 16.00–20.00, daya berada pada kisaran 78,48–216 W. Fluktuasi tersebut menunjukkan perubahan kombinasi beban, terutama penggunaan rice cooker, charger, kipas angin, dan laptop. Meskipun tegangan relatif stabil pada rentang 216–223 V, perubahan arus menyebabkan daya listrik berubah mengikuti jumlah peralatan yang aktif.

Secara keseluruhan, metode NILM mampu mengidentifikasi pola penggunaan peralatan listrik di Kamar 3 melalui perubahan daya yang terekam pada satu titik pengukuran. Analisis ini menunjukkan bahwa variasi konsumsi energi dipengaruhi oleh kombinasi beban yang digunakan, sehingga metode NILM efektif

untuk emantau penggunaan energi listrik tanpa memasang alat ukur pada setiap peralatan.

1. Indikasi Arus Bocor

Hasil analisis menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) menunjukkan bahwa perubahan nilai arus, daya, dan energi listrik pada Kamar 3 dipengaruhi oleh perubahan penggunaan beban listrik. Pola konsumsi energi yang tidak sesuai dengan kondisi penggunaan beban dapat digunakan sebagai indikasi awal adanya arus bocor.

Meskipun demikian, penelitian ini tidak melakukan pengukuran arus bocor secara langsung menggunakan Earth Leakage Clamp Meter maupun insulation tester. Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh hanya berupa indikasi berdasarkan perubahan karakteristik konsumsi energi listrik, bukan sebagai bukti pasti adanya arus bocor.

2. Penjelasan indikasi arus bocor

Berdasarkan hasil identifikasi beban menggunakan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM), perubahan nilai arus dan daya menunjukkan adanya perubahan pola konsumsi energi listrik yang dipengaruhi oleh penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan. Pada kondisi tertentu, apabila konsumsi energi tetap terjadi meskipun tidak terdapat perubahan penggunaan beban yang signifikan, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya arus bocor.

3. Kesimpulan Analisis Kamar 3

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode NILM, karakteristik konsumsi energi listrik pada Kamar 3 dipengaruhi oleh perubahan jumlah dan jenis beban listrik yang digunakan. Nilai arus, daya, dan energi listrik meningkat ketika beberapa peralatan listrik dioperasikan secara bersamaan, sedangkan nilai tegangan tetap berada pada kondisi yang relatif stabil. Metode NILM mampu mengidentifikasi pola penggunaan beban listrik serta memberikan indikasi beban lebih dan indikasi awal kemungkinan arus bocor berdasarkan perubahan karakteristik konsumsi energi. Namun, untuk memastikan adanya arus bocor diperlukan pengukuran langsung menggunakan alat ukur yang sesuai.

BAB IV
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan pada Bab 4, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik konsumsi energi listrik pada ketiga kamar menunjukkan bahwa nilai tegangan dan frekuensi relatif stabil selama proses pengukuran, sedangkan nilai arus, daya, dan energi listrik mengalami perubahan sesuai dengan jumlah serta jenis peralatan listrik yang digunakan. Peningkatan konsumsi energi terjadi ketika beberapa peralatan listrik dioperasikan secara bersamaan, sedangkan konsumsi energi menurun ketika jumlah beban yang digunakan berkurang.

2. Penerapan metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) mampu mengidentifikasi pola penggunaan beban listrik berdasarkan perubahan karakteristik arus, daya, dan energi listrik dari satu titik pengukuran tanpa memerlukan pemasangan sensor pada setiap peralatan listrik. Melalui analisis pola konsumsi energi, metode NILM dapat memberikan informasi mengenai perubahan penggunaan beban pada setiap waktu pengukuran..

3. Metode NILM dapat digunakan untuk mengidentifikasi indikasi beban lebih dan kemungkinan adanya arus bocor berdasarkan perubahan pola konsumsi energi listrik. Pada penelitian ini, peningkatan arus dan daya menunjukkan adanya indikasi beban lebih akibat penggunaan beberapa peralatan listrik secara bersamaan. Sementara itu, tidak ditemukan indikasi yang kuat terhadap adanya arus bocor pada data hasil pengukuran, karena perubahan konsumsi energi masih dapat dijelaskan oleh variasi penggunaan beban listrik.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi beban listrik yang lebih beragam agar pola konsumsi daya dapat teridentifikasi dengan lebih jelas.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperpanjang durasi pengambilan data agar hasil yang diperoleh lebih representatif.
3. Disarankan menggunakan alat ukur yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi untuk meningkatkan ketelitian hasil pengukuran.
4. Pengembangan metode *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) dapat dilakukan dengan menambahkan sensor yang lebih detail untuk meningkatkan kemampuan identifikasi beban listrik.
5. Metode ini berpotensi untuk diterapkan pada sistem rumah pintar (*smart home*) dalam pemantauan dan pengelolaan energi listrik secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

Asty Raisha Agma (2025) ‘Pengembangan Model Matematika untuk Efisiensi Energi pada Smart Grid’, Jurnal Matematika dan Aplikasi, 1(1), pp. 15-23.

Beyene, A. D. et al. (2022) ‘Pre-paid meters and household electricity use behaviors: Evidence from Addis Ababa, Ethiopia’, Energy Policy, 170, p. 113251. doi: 10.1016/j.enpol.2022.113251.

Clark W. Gellings (2024) Jaringan Cerdas Meningkatkan Efisiensi Energi dan Respons Permintaan. Available at: https://www.routledge.com/The-Smart-Grid-Enabling-Energy-Efficiency-and-Demand Response/Gellings/p/book/9788770045575?utm_source=chatgpt.com.

Creswell, JW dan Creswell, J. (2017) Desain penelitian: Pendekatan kualitatif, kuantitatif, dan metode campuran. Sage.

Darpono, R., Niam, B. and Sungkar, M. (2020) ‘Efisiensi Daya Listrik Rumah Berbasis Arduino Uno Dengan Timer Penggunaan Alat Listrik Secara Otomatis’, Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro, 9(1), pp. 4-6. doi: 10.30591/polektro.v9i1.1792.

Desti Nirwana Mozef (2020) Implementasi Agregasi Data Secara Real Time pada Smart Meter Menggunakan EDAS. Institut Teknologi Bandung.

Farid, Nur Sultan Salahuddin (2024) ‘Sistem Pantau dan Kendali Peralatan Listrik Rumah Berbasis Internet of Things (IoT)’, Jurnal Teknologi Terapan, 8(1), pp. 186-195).

Feri Alexsander Togatorop (2025) Rancang Bangun Kontrol dan Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT dengan Aplikasi Telegram. Universitas Mercu Buana. Available at: http://repository.mercubuana.ac.id/id/eprint/98534..

Frederiks, E. R., Stenner, K. and Hobman, E. V. (2015) ‘Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making

and behaviour', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, pp. 1385-1394. doi: 10.1016/j.rser.2014.09.026.

air, J. F., Hair, J., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & S. M. (2022) A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM, Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal. Available at: https://books.google.co.id/books?id=y8JyzgEACAA).

Ibrahim, M. I., Abrianto, H. and Sidik, A. D. (2025) 'Implementasi Sistem Pemantauan Beban Listrik Real-Time Pada Instalasi Rumah Tangga Berbasis Internet of Things', Journal Scientific of Mandalika (jsm), 6(5), p. 2025. Available at: https://www.ojs.cahayamandalika.com/index.php/jomla/article/view/4350%0A https://www.ojs.cahayamandalika.com/index.php/jomla/article/download/4350/347.

International Energy Agency (IEA) (2023) Energy efficiency, Dictionary of Ecological Economics: Terms for the New Millennium. doi: 10.4337/9781788974912.E.94.

Nasution, E. S., Pasaribu, F. I., & Hidayat, M. H. (2021). Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, *2*(2), 28-39.

Kartika, K. P. K. R. (2020) 'Perbandingan Konsumsi Energi Listrik Terhadap Biaya Listrik Menggunakan Sistem Pra Bayar, Pasca Bayar Dan Tenaga Surya Pada Skala Rumah Tangga', Jurnal Qua Teknika, 10(2), pp. 34-45. doi: 10.35457/quateknika.v10i2.1196.

Kementerian Energidan Sumber Daya Mineral(ESDM) (2026) Paparkan Capaian Kinerja 2025, Menteri ESDM: Kapasitas Terpasang dan Konsumsi Listrik Meningkat, esdm.go.id. Available at: https://gatrik.esdm.go.id/berita/?slug=paparkan-capaian-kinerja-2025-menteri-esdm-kapasitas-terpasang-dan-konsumsi-listrik-meningkat&category=ketenagalistrikan.

Kiswantono, A. (2025) 'Transformasi Energi Rumah Tangga: Otomatisasi Beban Listrik dengan IoT.', JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan), 13(1), pp. 75-81. doi: http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5554 TRANSFORMASI.

Li, Z. et al. (2022) 'A faulty section location method for distribution grid based on

grounding fault transfer device', Energy Reports, 8, pp. 81-89. doi: 10.1016/j.egyr.2022.09.088.

Maharmi, B. (2018) 'Analisa Konsumsi Energi Listrik Rumah Dengan Kendali Otomatis', SainETIn, 2(2), pp. 37-43. doi: 10.31849/sainetin.v2i2.1622.

Hart, G. W. (1992). Nonintrusive Appliance Load Monitoring. Proceedings of the IEEE, 80(12), 1870–1891.

International Energy Agency. (2022). *Energy Efficiency 2022*.

Hart, G. W. (1992). Nonintrusive Appliance Load Monitoring. Proceedings of the IEEE, 80(12), 1870–1891.

Zoha, A., Gluhak, A., Imran, M. A., & Rajasegarar, S. (2012). Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey. Sensors, 12(12), 16838–16866.

Kelly, J., & Knottenbelt, W. (2015). Neural NILM: Deep Neural Networks Applied to Energy Disaggregation. Proceedings of the ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments.

Parson, O., Ghosh, S., Weal, M., & Rogers, A. (2012). *Non-Intrusive Load Monitoring Using Prior Models of General Appliance Types*. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence.