



IMPLEMENTASI SISTEM DISAGREGASI BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE SENSOR HIBRIDA

MUHAMMAD IQBAL



TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



PERNYATAAN MENGENAI PROPOSAL PROYEK AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa Proposal Proyek Akhir dengan judul “Implementasi Sistem Disagregasi Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT Menggunakan Metode Sensor Hibrida” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir Proposal Proyek Akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, April 2026

Muhammad Iqbal
J0404221093

ABSTRAK

MUHAMMAD IQBAL. Implementasi Sistem Disagregasi Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT Menggunakan Metode Sensor Hibrida. Dibimbing oleh LATHIFUNNISA FATHONAH.

Masalah utama dalam manajemen energi rumah tangga adalah kesulitan mengidentifikasi sumber penggunaan biaya karena data konsumsi listrik masih bersifat agregat. Proyek ini mengimplementasikan sistem *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode sensor hibrida yang mengintegrasikan sensor PZEM-004T sebagai *ground truth* dan lima *channel* sensor SCT-013-010. Sistem dibangun menggunakan Arduino Uno R4 Minima untuk akuisisi data arus berkecepatan tinggi dan ESP32-S3 sebagai *gateway* IoT.

Hasil pengujian selama 63 hari menunjukkan bahwa setelah dilakukan optimasi melalui *individual current calibration*, sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi sangat tinggi dengan MAPE daya sebesar 0,08%. Sistem berhasil melakukan disagregasi energi untuk 29 perangkat aktif dengan penurunan MAPE daya sensor SCT secara drastis dari 9,30% menjadi 0,21%. Melalui pemantauan *real-time* via bot Telegram dan *Web Dashboard*, sistem memberikan transparansi rincian biaya yang sinkron dengan nominal pembelian token PLN prabayar. Proyek ini menghasilkan alat bantu pemantauan finansial mandiri yang mampu memprediksi sisa waktu pemakaian token secara presisi berdasarkan penggunaan riil setiap peralatan rumah tangga.

Kata kunci: Disagregasi Energi, ESP32-S3, Financial Tracking, IoT, NILM

ABSTRACT

MUHAMMAD IQBAL. Implementation of an IoT-Based Household Electric Load Disaggregation System Using a Hybrid Sensor Method. Supervised by LATHIFUNNISA FATHONAH.

The core issue in household energy management is the difficulty in identifying cost sources due to the aggregate nature of electricity consumption data. This project implemented an IoT-based *Non-Intrusive Load Monitoring* (NILM) system using a hybrid sensor method that integrates a PZEM-004T sensor as ground truth and five-channel SCT-013-010 sensors. The system was built using an Arduino Uno R4 Minima for high-speed current data acquisition and an ESP32-S3 as the IoT gateway.

Results from 63 days of testing showed that after optimization through individual current calibration, the PZEM-004T sensor achieved very high accuracy with a power MAPE of 0.08%. The system successfully performed energy disaggregation for 29 active devices, with a significant reduction in the SCT sensor's power MAPE from 9.30% to 0.21%. Through real-time monitoring via a bot Telegram and Web Dashboard, the system provides transparent cost breakdowns synchronized with prepaid PLN token purchases. This project delivers an independent financial monitoring tool capable of precisely predicting remaining token usage time based on the real-time consumption of each household appliance.

Keywords: Energy Disaggregation, ESP32-S3, Financial Tracking, IoT, NILM



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

IMPLEMENTASI SISTEM DISAGREGASI BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE SENSOR HIBRIDA

MUHAMMAD IQBAL

Laporan Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer

**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji pada ujian Laporan Akhir: Dr. Inna Novianty, S.Si., M.Si.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



**Judul Proyek Akhir : Implementasi Sistem Disagregasi Beban Listrik Rumah
Tangga Berbasis IoT Menggunakan Metode Sensor
Hibrida**

Nama : Muhammad Iqbal
NIM : J0404221093

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing:
Lathifunnisa Fathonah, S.ST., M.T.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Inna Novianty, S.Si., M.Si.
NPI 201811198611192014

Ketua Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP 196607171992031003

Tanggal Ujian:
11 Juni 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Tema yang diangkat dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2025 hingga April 2026 ini adalah Teknologi Internet of Things (IoT), dengan judul “Implementasi Sistem Disagregasi Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT Menggunakan Metode Sensor Hibrida”.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Lathifunnisa Fathonah, S.ST., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada dosen pembimbing akademik, moderator seminar, serta penguji luar komisi pembimbing. Terimakasih kepada Ibu Dr. Inna Novianty, S.Si., M.Si. dan Bapak Aep Setiawan, S.Si., M.Si., yang telah memberikan banyak dukungan selama perkuliahan.

Penghargaan juga penulis sampaikan kepada Ibu penulis Niken Alfianti, A.Md., dan Kakak penulis Nur Mauliani, S.Kom., atas bantuan dan motivasi yang diberikan. Ucapan terima kasih secara khusus juga penulis sampaikan kepada Bulik Riza, Bulik Nari, dan Om Hery yang telah memberikan dukungan penuh (*full support*) terhadap seluruh biaya perkuliahan penulis. Rasa terima kasih juga penulis tujukan kepada Bulik, Budhe, Pakdhe, Om, serta seluruh keluarga besar yang selalu mengiringi langkah penulis dengan doa dan dukungan terbaik hingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan.

Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada partner kuliah Puteri Vanya Salsabila serta seluruh teman-teman Teknologi Rekayasa Komputer angkatan 59. Tak lupa penulis menyampaikan terima kasih kepada saudara-saudara seperjuangan tak sedarah Raga Sukmana, Raihan Abrar Baihaki, T. Fikri Nabil Ridan, Muhammad Ikhsan Rizky Nugraha, Aura Kharina, dan Attha Advisa Dewintaningrum yang telah menjadi rekan kolaborasi dan menemani penulis selama magang ketika perkuliahan ini.

Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan serta berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026

Muhammad Iqbal



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 IoT (Internet of Things)	5
2.2 Rumus Perhitungan Energi Listrik	5
2.3 <i>Non-Intrusive Load Monitoring</i> (NILM)	6
2.4 <i>Root Mean Square</i> (RMS)	6
2.5 Sidik Jari Perangkat (Load Signature)	6
2.6 Proses Pelatihan (<i>Training</i>) Perangkat	7
2.7 Disagregasi Energi	7
2.8 Metode Hibrida	7
2.9 Prosedur Kalibrasi	7
2.10 <i>Noise</i> (Gangguan Sinyal)	8
2.11 Analisis Akumulasi Energi	8
2.12 Analisis Finansial dan Prediksi	8
2.13 Analisis Validasi Akurasi Sensor	8
2.14 <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE)	9
2.15 Analisis Statistik Deskriptif	9
2.16 Integrasi Bot Telegram	10
2.17 <i>Website</i>	10
2.18 Komponen Fisik	10
III. METODE	15
3.1 Lokasi dan Waktu	15
3.2 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data	15
3.3 Prosedur Kerja	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Implementasi Sistem	29
4.2 Pengujian Sistem	38
4.3 Analisis Data	48
V. SIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Simpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56



LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP

60
00

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang



DAFTAR TABEL

1. Acuan nilai MAPE	9
2. Daftar Perangkat keras (<i>Hardware</i>)	18
3. Daftar perangkat lunak (<i>Software</i>)	19
4. Spesifikasi hardware	31
5. Daftar perangkat	39
6. Validasi akurasi pengukuran tegangan (Volt) fase I	40
7. Validasi akurasi pengukuran daya (Watt) fase I	41
8. Validasi akurasi pengukuran arus (Ampere) fase I	41
9. Konstanta kalibrasi arus individual sensor SCT	42
10. Validasi akurasi pengukuran tegangan (Volt) fase II	42
11. Validasi akurasi pengukuran daya (Watt) fase II	43
12. Validasi akurasi pengukuran arus (Ampere) fase II	43
13. Hasil pengujian 3 periode fase I	44
14. Breakdown energi perangkat fase I (NILM Detection - Periode 1)	44
15. Breakdown energi perangkat fase I (NILM Detection - Periode 2)	45
16. Breakdown energi perangkat fase I (NILM Detection - Periode 3)	45
17. Hasil pengujian 3 periode fase II	46
18. Breakdown energi perangkat fase II (NILM Detection - Periode 1)	46
19. Breakdown energi perangkat fase II (NILM Detection - Periode 2)	47
20. Breakdown energi perangkat fase II (NILM Detection - Periode 3)	47
21. Hasil disagregasi energi SCT dengan PZEM fase I	49
22. Hasil disagregasi energi SCT dengan Meteran PLN fase I	49
23. Hasil disagregasi energi PZEM dengan Meteran PLN fase I	49
24. Hasil disagregasi energi SCT dengan PZEM fase II	50
25. Hasil disagregasi energi SCT dan Meteran PLN fase II	50
26. Hasil disagregasi energi PZEM dan Meteran PLN fase II	50
27. Data perbandingan top-up dan estimasi biaya tiga periode fase I	51
28. Data perbandingan Meteran PLN, sensor SCT, dan sensor PZEM fase I	51
29. Rincian biaya setiap perangkat elektronik fase I	52
30. Data perbandingan top-up dan estimasi biaya tiga periode fase II	53
31. Data perbandingan Meteran PLN, sensor SCT, dan sensor PZEM fase II	53
32. Rincian biaya setiap perangkat elektronik fase II	54



DAFTAR GAMBAR

1. Pemanfaatan IoT dalam rumah tangga	5
2. ESP32-S3	11
3. Arduino Uno R4 Minima	11
4. PZEM-004T	12
5. Modul sensor SCT-013-010	12
6. Modul SD-Card reader	13
7. LCD I2C Display	13
8. Hi-Link 20M05	14
9. Diagram alir prosedur kerja penelitian NILM	16
10. Skematik rangkaian ESP32-S3	20
11. Skematik rangkaian Arduino Uno R4 Minima	21
12. 3D Tampak depan	22
13. 3D Tampak atas	22
14. 3D Tampak kiri	23
15. 3D Tampak kanan	23
16. 3D Tampak bawah	23
17. Dimensi alat	24
18. Diagram alir sistem NILM	25
19. Implementasi Perangkat Keras Sistem	29
20. Implementasi Rangkaian Sistem	30
21. Perintah /help pada telegram	32
22. Perintah /status pada telegram	32
23. Perintah /list pada telegram	33
24. Perintah /energy pada telegram	33
25. Perintah /pzem pada telegram	33
26. Perintah /saldo pada telegram	34
27. Perintah /train pada telegram	34
28. Perintah /delete pada telegram	34
29. Perintah /topup pada telegram	35
30. Perintah /calibrate pada telegram	35
31. Perintah /sync pada telegram	35
32. Perintah /resetskwh pada telegram	36
33. Perintah /resetall pada telegram	36
34. Perintah /ip dan /sdcard pada telegram	36
35. Halaman utama web	37
36. Bagian bawah halaman utama web	37
37. Tampilan slide pertama laporan excel	38
38. Tampilan slide kedua laporan excel	38
39. Grafik perbandingan fase I SCT, PZEM, dan Meteran PLN	49
40. Grafik perbandingan fase II SCT, PZEM, dan Meteran PLN	50
41. Grafik perbandingan biaya SCT, PZEM, Meteran PLN fase I	52
42. Grafik perbandingan biaya SCT, PZEM, Meteran PLN fase II	53

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR LAMPIRAN

1. Timeline proyek akhir	61
2. Gambar 3D desain unit NILM	61
3. Gambar sistem unit NILM	62
4. Sidik jari fase I	67
5. Laporan konsumsi periode 1 pada fase I	68
6. Laporan konsumsi periode 2 pada fase I	69
7. Laporan konsumsi periode 3 pada fase I	70
8. Topup token PLN 3 periode pada fase I	71
9. Data error blender fase I	71
10. Data error bor tangan fase I	72
11. Data error chass laptop fase I	72
12. Data error gerinda fase I	73
13. Data error hairdryer fase I	73
14. Data error hotgun fase I	74
15. Data error kipas angin fase I	74
16. Data error mesin jahit fase I	75
17. Data error setrika fase I	75
18. Data error solder fase I	76
19. Data error oven fase I	76
20. Sidik jari fase I	77
21. Laporan konsumsi periode 1 pada fase II	78
22. Laporan konsumsi periode 2 pada fase II	79
23. Laporan konsumsi periode 3 pada fase II	80
24. Topup token PLN 3 periode pada fase II	81
25. Data error blender fase II	81
26. Data error bor tangan fase II	82
27. Data error gerinda fase II	82
28. Data error hairdryer fase II	83
29. Data error hotgun fase II	83
30. Data error kipas angin fase II	84
31. Data error laptop fase II	84
32. Data error mesin jahit fase II	85
33. Data error oven fase II	85
34. Data error setrika fase II	86
35. Data error solder fase II	86
36. Gambar training peralatan 3D print	86
37. Gambar training peralatan AC	87
38. Gambar training peralatan blender	87
39. Gambar training peralatan bor tangan	87
40. Gambar training peralatan CCTV	88
41. Gambar training peralatan hairdryer	88
42. Gambar training peralatan hexos	88
43. Gambar training peralatan hotgun	89
44. Gambar training peralatan hp_bunda	89
45. Gambar training peralatan hp_iqbal	89
46. Gambar training peralatan kipas_angin_lia	90

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

47. Gambar training peralatan kipas_angin	90
48. Gambar training peralatan lampu_dapur	90
49. Gambar training peralatan kulkas	91
50. Gambar training peralatan lampu_k_bunda	91
51. Gambar training peralatan lampu_k_lia	91
52. Gambar training peralatan lampu_k_mandi	92
53. Gambar training peralatan lampu luar	92
54. Gambar training peralatan lampu_tengah	92
55. Gambar training peralatan laptop	93
56. Gambar training peralatan magicom	93
57. Gambar training peralatan mesin_jahit	93
58. Gambar training peralatan oven	94
59. Gambar training peralatan pompa_air_a	94
60. Gambar training peralatan pompa_air_b	94
61. Gambar training peralatan setrika	95
62. Gambar training peralatan solder	95
63. Gambar training peralatan tv	95
64. Gambar training peralatan wifi	96
65. Gambar training telegram pada fase II	96
66. Link video demo alat	99