TUGAS AKHIR

ANALISIS RESPON DAN DAMPAK FLUKTUASI TEGANGAN TERHADAP KINERJA BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS SIMULASI MATLAB/SIMULINK

Diselesaikan untuk Melengkapi Tugas-tugas dan memenuhi Syarat-syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :

M.RIZKY ANANDA MARPAUNG

2207220029



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M RIZKY ANANDA MARPAUNG

NPM :: 2207220029

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : ANALISIS RESPON DAN DAMPAK FLUKTUASI TEGANGAN TERHADAP KINERIA BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS SIMULASI MATLAB/SIMULINK

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, 5 September 2026

Mengetahui dan menyetujui:
Dosen Pembimbing

Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding I

Noorly Evarina, S.T., M.T

Dosen Pembanding II

Rahmat Fauzi Siregar S.T., M.T

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	: M RIZKY ANANDA MARPAUNG
Tempat /Tanggal Lahir	: Sei Kepayang Tengah/28 Oktober 2002
NPM	: 2207220029
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

"Analisis Respon Dan Dampak Fluktuasi Tegangan Terhadap Kinerja Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Simulasi Matláb/Simulink",

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 orisinii 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, 3 September 2026

Saya yang menyatakan,



M RIZKY ANANDA MARPAUNG

ABSTRAK

Fluktuasi tegangan merupakan salah satu permasalahan kualitas daya pada sistem distribusi tenaga listrik yang dapat memengaruhi kinerja dan keandalan peralatan listrik rumah tangga. Perubahan nilai tegangan di sekitar tegangan nominal berpotensi menyebabkan perubahan karakteristik listrik pada berbagai jenis beban sehingga berdampak terhadap efisiensi, performa, dan umur pakai peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan rumah tangga, menilai dampaknya terhadap kinerja beban listrik rumah tangga, serta mengidentifikasi parameter listrik yang paling sensitif terhadap perubahan tegangan sebagai indikator evaluasi kualitas daya. Penelitian dilakukan menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi berbasis MATLAB/Simulink. Variasi tegangan yang digunakan meliputi 198 V, 209 V, 220 V, 231 V, dan 242 V. Objek simulasi terdiri atas lampu pijar 60 W, setrika 300 W, kipas angin 50w, pompa air 200 W, dan lampu LED 10 W. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan RMS, arus RMS, daya aktif, daya semu, faktor daya, Total Harmonic Distortion (THD), serta karakteristik kinerja masing-masing beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fluktuasi tegangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik dan kinerja beban listrik rumah tangga. Kondisi undervoltage menyebabkan penurunan tegangan, arus, daya aktif, tingkat pencahayaan lampu, kemampuan pemanasan setrika, serta performa beban bermotor. Sebaliknya, kondisi overvoltage meningkatkan daya, arus, dan kinerja beban, namun berpotensi mempercepat penurunan umur pakai peralatan akibat meningkatnya temperatur operasi dan tegangan kerja komponen. Parameter yang paling sensitif terhadap perubahan tegangan adalah tegangan RMS, arus RMS, dan daya aktif, sedangkan nilai THD tetap sangat kecil sehingga perubahan kinerja beban lebih dipengaruhi oleh perubahan amplitudo tegangan dibandingkan distorsi harmonisa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kestabilan tegangan merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas daya serta keandalan sistem kelistrikan rumah tangga.

Kata kunci: fluktuasi tegangan, kualitas daya, MATLAB/Simulink, beban listrik rumah tangga, respon beban, kinerja beban.

ABSTRACT

Voltage fluctuation is one of the power quality problems in electrical distribution systems that can affect the performance and reliability of household electrical appliances. Variations in supply voltage around its nominal value may alter the electrical characteristics of various types of loads, thereby influencing their efficiency, performance, and service life. This study aims to analyze the characteristics of voltage fluctuations in residential electrical systems, evaluate their impact on the performance of household electrical loads, and identify the electrical parameters that are most sensitive to voltage variations as indicators for power quality assessment. The research employed a quantitative method using a simulation-based approach with MATLAB/Simulink. The simulations were conducted under five voltage conditions: 198 V, 209 V, 220 V, 231 V, and 242 V. The simulated household loads consisted of a 60 W incandescent lamp, a 300 W electric iron, an electric fan, a 200 W water pump, and a 10 W LED lamp. The analyzed parameters included RMS voltage, RMS current, active power, apparent power, power factor, Total Harmonic Distortion (THD), and the operating characteristics of each load. The simulation results indicate that voltage fluctuations have a significant effect on the electrical characteristics and performance of household loads. Undervoltage conditions reduce RMS voltage, RMS current, active power, illumination level, heating performance, and motor performance, whereas overvoltage conditions increase power consumption and load performance but may accelerate equipment degradation due to higher operating temperatures and electrical stress. Furthermore, RMS voltage, RMS current, and active power were identified as the most sensitive parameters to voltage variations. Meanwhile, the THD values remained very low, indicating that changes in load performance were primarily caused by voltage magnitude variations rather than harmonic distortion. Therefore, maintaining voltage stability is essential to ensure good power quality, reliable operation, and optimal performance of household electrical equipment.

Keywords: *voltage fluctuation, power quality, MATLAB/Simulink, household electrical loads, load response, load performance.*

KATA PENGANTAR

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 dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Analisis Respon Dan Dampak Fluktuasi Tegangan Terhadap Kinerja Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Simulasi Matlab/Simulink" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang Tua, Kakak, Dan Abang Penulis Yang Senantiasa Memberikan Doa, Dukungan, Kasih Sayang, Serta Telah Berjuang Dengan Penuh Pengorbanan Dalam Membesarkan Dan Membiayai Pendidikan Penulis Hingga Dapat Menyelesaikan Studi Ini.
2. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Ade Faisal, ST., M.Sc, Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Elvy Sahnur Nasution, ST, Mpd, Yang Telah Banyak Memberikan Koreksi Dan Masukan Kepada Penulis Dalam Menyelesaikan Tugas Akhir Ini, Sekaligus Sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T. , Dosen Pembimbing Dan Penguji Yang Telah Banyak Membimbing Dan Mengarahkan Penulis Dalam Menyelesaikan Tugas Akhir Ini.
6. Ibu Noorly Evalina, ST, MT, Selaku Dosen Pembanding I Dan Penguji Yang Telah Banyak Memberikan Koreksi Dan Masukan Kepada Penulis Dalam Menyelesaikan Tugas Akhir Ini.
7. Bapak Rahmat Fauzi Siregar, ST, MT, Selaku Dosen Pembanding II Dan Penguji Yang Telah Banyak Memberikan Koreksi Dan Masukan Kepada Penulis Dalam Menyelesaikan Tugas Akhir Ini.

8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Yang Telah Banyak Memberikan Ilmu Keteknikelektroan Kepada Penulis.
9. Sahabat Penulis Ryan Alhadian, Randy Fenandar, Andre Tri Ananda, Muhammad Riflan Izzati ,Maulana Muhammad Dan Sahabat PPA Lainnya Yang Telah Membantu Dalam Penulisan Skripsi Ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Elektro.

Medan, 3 September 2026

M. Rizky Ananda Marpaung

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Ruang Lingkup 2
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Tinjauan Pustaka Relavan 4
2.2 Respon Beban Listrik Rumah Tangga Terhadap Fluktuasi Tegangan 6
2.3 Dampak Fluktuasi Tegangan 7
2.4 Fluktuasi Tegangan Pada Sistem Kelistrikan 8
2.5 Penyebab Terjadinya Fluktuasi Tegangan 10
2.5.1 Penyebab Fluktuasi Tegangan dari Sisi Jaringan Distribusi 11
2.5.2 Penyebab Fluktuasi Tegangan dari Sisi Beban Konsumen 13
2.6 Klasifikasi Fluktuasi Tegangan 15
2.6.1 Fluktuasi Tegangan Rendah (Under-Voltage) 16
2.6.2 Fluktuasi Tegangan Tinggi (Over-Voltage) 17
2.6.3 Fluktuasi Tegangan Berulang dan Berkala 19

2.7 Teori Dasar Listrik Bolak Balik 20
2.7.1 Tegangan Listrik..... 22
2.7.2 Arus Listrik..... 22
2.7.3 Daya Listrik..... 23
2.7.4 Faktor Daya (Power Factor) 26
..... 28
2.8 Keterkaitan Parameter Tegangan, Arus, dan Daya.....29
2.9 Beban Listrik Rumah Tangga.....30
2.10 Karakteristik Antar Beban Listrik Rumah Tangga.....30
2.11 Jenis Beban Listrik Rumah Tangga.....32
2.11.1 Beban Resistif..... 32
2.11.2 Beban Induktif..... 33
2.12.3 Beban Kapasitif..... 34
2.12 Dasar Teori Simulasi MATLAB/Simulink.....34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....37
3.1 Pendekatan Penelitian.....37
3.1 Tempat dan Waktu.....37
3.2 Alat dan Bahan 38
3.3 Alat 38
3.4 Bahan.....40
3.5 Tahap Penelitian 40
3.4 Diagram Alir.....42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....43
4.1 Gambaran Umum Simulasi 43
4.1.1 Deskripsi Sistem yang Disimulasikan 43
4.1.2 Skenario Fluktuasi Tegangan yang Diuji 44
4.2 Penentuan Parameter Simulasi 46
4.3 Karakteristik Fluktuasi Tegangan pada Sistem Kelistrikan Rumah Tangga.....49

4.4 Simulasi Beban Berbagai Kondisi Tegangan 51
4.3.1 Lampu Pijar 51
4.3.2 Setrika..... 67
4.3.3 Kipas Angin..... 80
4.3.4 Pompa Air..... 106
4.3.5 Lampu LED dengan driver elektronik..... 131
4.4 Analisis Respon Fluktuasi Tegangan terhadap Kinerja Beban Listrik Rumah Tangga 154
4.4.1 Karakteristik Respon Gelombang Tegangan dan Arus Berbagai Beban 154
4.5 Analisis Dampak Fluktuasi Tegangan terhadap Kinerja Beban 162
BAB V 173
PENUTUP 173
5.1 Kesimpulan.....173
5.2 Saran 174
DAFTAR PUSTAKA.....175
DAFTAR RIWAYAT HIDUP
.....179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perubahan tegangan persegi panjang untuk ambang batas 9
Gambar 2. 2 Fluktuasi tegangan rendah atau under-voltage.....17
Gambar 2. 3 Fluktuasi tegangan tinggi atau over-voltage 18
Gambar 2. 4 Perubahan tegangan persegi panjang d = V/V = 40 %, frekuensi modulasi 8,8 Hz, 17,6 perubahan/detik.....19
Gambar 2. 5 Gelombang Faktor Daya Lagging (tertinggal).....27
Gambar 2. 6 Gelombang Faktor Daya Leading (Mendahului) 28
Gambar 2. 7 Gelombang Faktor Daya Unity 29
Gambar 2. 8 Gelombang Beban Resistif.....33
Gambar 2. 9 Gelombang Beban Induktif.....34
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....37
Gambar 3. 2 Gambar Laptop.....39
Gambar 3. 3 Gambar Aplikasi Matlab/Simulink 40
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian 42
Gambr 4. 1 Diagram Blok Umum.....44
Gambr 4. 2 Rangkaian Lampu Pijar 60W Undervoltage -10% 52
Gambr 4. 3 Rangkaian Lampu Pijar 60W Undervoltage -5% 55
Gambr 4. 4 Rangkaian Lampu Pijar 60w.....58
Gambr 4. 5 Rangkaian Lampu Pijar 60W Undervoltage -5% 60
Gambr 4. 6 Rangkaian Lampu Pijar 60W Undervoltage -10% 63
Gambr 4. 7 Rangkaian Setrika 300W Undervoltage -10%.....67
Gambr 4. 8 Rangkaian Setrika 300W Undervoltage -5%.....69
Gambr 4. 9 Rangkaian Setrika 300w Kondisi Normal 72
Gambr 4. 10 Rangkaian Setrika 300W Overvoltage -5%.....74
Gambr 4. 11 Rangkaian Setrika 300W Overvoltage -10%.....77
Gambr 4. 12 Rangkaian Kipas Angin 50W Undervoltage -10%.....81
Gambr 4. 13 Rangkaian Kipas Angin 50W Undervoltage -5%.....86
Gambr 4. 14 Rangkaian Kipas Angin 50W Normal 91
Gambr 4. 15 Rangkaian Kipas Angin 50W Overvoltage -5%.....96
Gambr 4. 16 Rangkaian Kipas Angin 50W Undervoltage -10%.....99

Gambr 4. 17 Rangkaian Pompa Air 200W Undervoltage -10%.....106
Gambr 4. 18 Rangkaian Pompa Air 200W Undervoltage -5%.....111
Gambr 4. 19 Rangkaian Pompa Air 200W Normal.....115
Gambr 4. 20 Rangkaian Pompa Air 200W Overvoltage -5%.....120
Gambr 4. 21 Rangkaian Pompa Air 200W Overvoltage -10%.....125
Gambr 4. 22 Rangkaian Lampu LED 10W Undervoltage -10%.....131
Gambr 4. 23 Rangkaian Lampu LED 10W Undervoltage -5%.....135
Gambr 4. 24 Rangkaian Lampu LED 10W Normal.....140
Gambr 4. 25 Rangkaian Lampu LED 10W Undervoltage -5%.....144
Gambr 4. 26 Rangkaian Lampu LED 10W Undervoltage -10%.....149
Gambr 4. 27 Tegangan Dan Arus Terhadap Waktu.....154
Gambr 4. 28 Respon Daya Aktif, Semu, Reaktif Terhadap Fluktuasi Tegangan 156
Gambr 4. 29 Respon Irms Beban Berbagai Kondisi Tegangan.....160
Gambr 4. 30 Dampak Perubahan Kinerja Lampu Pijar Berbagai Kondisi Tegangan
.....162
Gambr 4. 31 Dampak Perubahan Kinerja Setrika Berbagai Kondisi Tegangan..164
Gambr 4. 32 Dampak Perubahan Kinerja Kipas Angin Berbagai Kondisi
Tegangan.....166
Gambr 4. 33 Dampak Perubahan Kinerja Pompa Air Berbagai Kondisi Tegangan
.....168
Gambr 4. 34 Dampak Perubahan Kinerja Lampu Led Berbagai Kondisi Tegangan
.....170
Gambr 4. 35 Dampak Perubahan Kinerja Lampu Led Berbagai Kondisi Tegangan
.....170
Gambr 4. 36 Dampak Perubahan Kinerja Lampu Led Berbagai Kondisi Tegangan
.....170
Gambr 4. 37 Dampak Perubahan Kinerja Lampu Led Berbagai Kondisi Tegangan
.....170

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Variasi Tegangan.....31
Tabel 3. 1 Tabel Waktu Penelitian.....38
Tabel 3. 2 Parameter Fluktuasi Tegangan.....40
Tabel 3. 3 Penentuan Parameter dan Beban Simulasi.....42
Tabel 3. 4 Spesifikasi Teknis Beban Listrik.....43
Tabel 4. 1 variasi tegangan 45
Tabel 4. 2 Parameter Simulasi 47
Tabel 4. 3 Spesifikasi beban 49
Tabel 4. 4 Hasil simulasi lampu pijar 60w..... 66
Tabel 4. 5 Hasil simulasi setrika 300w 80
Tabel 4. 6 Hasil simulasi kipas angin berbagai kondisi 105
Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Pompa Air 200w..... 130
Tabel 4. 8 Hasil Simulasi Lampu led 10 W 153

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 5. 1 lembar asistensi seminar proposal 180
Lampiran 5. 2 lembar asistensi seminar hasil 181
Lampiran 5. 3 Lembar asistensi sidang skripsi 182

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan pokok yang memiliki peran penting dalam menunjang aktivitas kehidupan masyarakat pada era globalisasi. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik, penggunaan listrik pun terus mengalami peningkatan yang ditunjukkan oleh bertambahnya permintaan pemasangan sambungan listrik baru baru [1]. Ketidaksesuaian kualitas daya dengan standar yang berlaku dapat menimbulkan gangguan operasional, terutama pada peralatan listrik rumah tangga yang pada umumnya dirancang untuk beroperasi pada nilai tegangan normal tertentu [2].

Salah satu bentuk gangguan kualitas daya yang umum dijumpai pada sistem distribusi tegangan rendah adalah fluktuasi tegangan. Fluktuasi tegangan dapat diartikan sebagai perubahan nilai tegangan yang terjadi secara teratur maupun acak dari waktu ke waktu, sehingga besarannya menyimpang dari nilai tegangan yang seharusnya atau yang dianggap normal [3]. Fenomena ini ditandai oleh terjadinya variasi naik dan turun tegangan suplai dalam selang waktu tertentu, yang berpotensi mengganggu stabilitas sistem tenaga listrik serta menurunkan performa peralatan listrik yang terhubung [4].

Pengoperasian berbagai peralatan listrik secara simultan di lingkungan rumah tangga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya fluktuasi tegangan. Variasi pemakaian beban pada instalasi listrik rumah tangga dapat mengubah pola arus yang mengalir dan besaran daya yang disuplai dalam sistem [5]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fluktuasi tegangan tidak hanya berdampak pada sisi sistem distribusi, tetapi juga secara langsung memengaruhi respon dan kinerja beban listrik rumah tangga.

Hasil analisis kualitas daya pada instalasi yang menggunakan beban menunjukkan bahwa perubahan arus dan tegangan akibat karakteristik beban dapat memengaruhi berbagai parameter kualitas daya [6]. Keterbatasan dalam pelaksanaan pengukuran secara langsung di lapangan menjadikan metode simulasi sebagai alternatif yang lebih aman dan fleksibel dalam menganalisis perilaku sistem tenaga listrik di bawah berbagai skenario gangguan tegangan.

Pemanfaatan MATLAB/Simulink sebagai perangkat lunak simulasi dalam penelitian sistem tenaga listrik telah banyak diaplikasikan dan terbukti efektif dalam merepresentasikan karakteristik sistem secara dinamis. Oleh karena itu, melalui pendekatan simulasi berbasis MATLAB/Simulink, analisis terhadap respon dan dampak fluktuasi tegangan pada kinerja beban listrik rumah tangga dapat dilakukan secara terstruktur dan sistematis. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran teknis yang komprehensif mengenai pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kualitas daya listrik di lingkungan rumah tangga.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fluktuasi tegangan yang terjadi pada sistem kelistrikan rumah tangga?
2. Sejauh mana fluktuasi tegangan memberikan dampak terhadap kinerja beban listrik rumah tangga akibat perubahan tegangan?
3. Bagaimana perbedaan respon beban listrik rumah tangga antara kondisi tegangan normal dan kondisi fluktuasi tegangan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menganalisis karakteristik fluktuasi tegangan yang terjadi pada sistem kelistrikan rumah tangga.
2. Menilai dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga.
3. Mengidentifikasi parameter listrik yang paling sensitif terhadap perubahan tegangan sebagai indikator evaluasi kualitas daya.

1.4 Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang perlu diperjelas, yaitu:

1. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam gangguan sistem tenaga listrik yang kompleks, seperti hubung singkat, harmonisa, atau gangguan pada sistem transmisi dan distribusi.

2. Fluktuasi tegangan yang dianalisis dibatasi pada perubahan tegangan di sekitar nilai normal sesuai skenario simulasi, dan tidak mencakup gangguan ekstrem seperti pemadaman total atau lonjakan tegangan sangat tinggi.
3. Analisis difokuskan pada perbandingan respon beban listrik rumah tangga antara kondisi tegangan normal dan kondisi fluktuasi**,** serta parameter listrik yang paling sensitif terhadap perubahan tegangan, tanpa membahas metode kompensasi atau stabilisasi tegangan tambahan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan pemahaman tentang respon dan kinerja beban listrik rumah tangga terhadap fluktuasi tegangan melalui simulasi MATLAB/Simulink
2. Membantu pengguna atau teknisi dalam mengevaluasi kinerja peralatan listrik rumah tangga saat terjadi fluktuasi tegangan dan mengetahui parameter listrik yang paling sensitif.
3. Menjadi acuan untuk merencanakan sistem distribusi listrik yang lebih stabil dan peralatan listrik yang lebih tahan terhadap fluktuasi tegangan.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai karakteristik fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan rumah tangga serta dampaknya terhadap kinerja beban listrik melalui analisis simulasi menggunakan MATLAB dan Simulink.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relavan

Kajian penelitian terdahulu berperan penting sebagai dasar ilmiah dalam memahami fenomena fluktuasi tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik serta implikasinya terhadap kinerja beban listrik, khususnya pada instalasi rumah tangga. Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan melalui pendekatan pengukuran langsung pada jaringan eksisting maupun melalui pemodelan dan simulasi berbasis komputasi.

Salah satu penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal *Energies* mengkaji pengaruh pengoperasian peralatan listrik rumah tangga terhadap kualitas daya pada sistem mikrogrid [7]. Studi tersebut menganalisis variasi tegangan, tingkat distorsi harmonisa, serta perubahan faktor daya akibat simulasi penggunaan beragam jenis beban rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi pembebanan berdampak pada perubahan profil tegangan yang selanjutnya memengaruhi kualitas daya sistem secara keseluruhan. Temuan ini menegaskan bahwa fluktuasi tegangan tidak hanya berdampak pada satu peralatan tertentu, melainkan berpengaruh terhadap kondisi sistem listrik secara global.

Selanjutnya, penelitian [8] yang disajikan dalam bentuk tesis menginvestigasi dampak variasi tegangan suplai terhadap konsumsi daya aktif dan daya reaktif pada beberapa tipe beban listrik. Dengan menerapkan variasi tegangan antara 90% hingga 110% dari tegangan normal, penelitian tersebut menemukan adanya perubahan yang signifikan pada besaran arus dan daya beban. Hasil ini menunjukkan bahwa fluktuasi tegangan memiliki pengaruh langsung terhadap parameter kelistrikan utama, sehingga relevan sebagai landasan teoritis dalam analisis kinerja beban listrik rumah tangga.

Penelitian lain yang dilakukan oleh [9] berfokus pada analisis pengaruh fluktuasi sumber daya listrik terhadap parameter pengukuran daya pada jaringan distribusi. Meskipun ruang lingkup penelitian ini menitikberatkan pada sistem pengukuran, hasilnya mengindikasikan bahwa ketidakstabilan tegangan menyebabkan variasi nilai arus dan daya yang terukur. Temuan tersebut

memperkuat pandangan bahwa fluktuasi tegangan memiliki dampak yang luas terhadap performa sistem tenaga listrik, termasuk pada sisi beban rumah tangga.

Selain itu, studi yang dilakukan pada penelitian [10] mengevaluasi kualitas daya listrik pada bangunan gedung dengan menganalisis parameter tegangan, arus, dan faktor daya. Hasil pengamatan menunjukkan adanya fluktuasi tegangan yang memengaruhi kinerja beban listrik yang terpasang. Walaupun objek penelitian berupa bangunan gedung, karakteristik fenomena yang dianalisis memiliki kesamaan dengan kondisi pada instalasi rumah tangga, sehingga penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi pendukung.

Penelitian yang dilakukan oleh [11] membahas kualitas daya listrik pada sistem kelistrikan rumah tangga dengan fokus pada pengaruh harmonisa serta penerapan filter pasif sebagai upaya perbaikannya. Metode penelitian meliputi pengukuran parameter kelistrikan dan simulasi menggunakan MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa harmonisa dari beban nonlinier dapat menurunkan kualitas daya, dan penggunaan filter pasif mampu menekan nilai distorsi harmonisa hingga memenuhi standar yang berlaku. Namun, penelitian tersebut belum mengkaji secara spesifik respon dinamis beban listrik terhadap fluktuasi tegangan, sehingga masih terbuka peluang penelitian lanjutan pada aspek tersebut.

Berdasarkan kajian terhadap literatur yang ada, fluktuasi tegangan telah diakui luas sebagai salah satu faktor penting yang memengaruhi kualitas daya serta parameter kelistrikan pada sistem tenaga listrik. Walaupun demikian, sebagian besar studi yang tersedia masih berfokus pada penilaian kualitas daya secara luas, analisis pada kondisi tunak (*steady-state*), dan kajian harmonisa beserta teknik mitigation. Penelitian yang secara spesifik mengulas respon dinamis berbagai jenis beban rumah tangga terhadap fluktuasi tegangan suplai masih relatif sedikit, terutama untuk skenario perubahan tegangan yang cepat dan berulang. Karakteristik fluktuasi seperti ini pun belum banyak dimodelkan dan direpresentasikan secara rinci dalam studi pemodelan maupun simulasi numerik, sehingga perilaku sistem tidak sepenuhnya tergambarkan, di sisi lain perbedaan perilaku transien antara beban bersifat resistif dan induktif terhadap variasi tegangan juga belum ditelaah secara komprehensif dalam konteks beban rumah tangga. Dengan mempertimbangkan kesenjangan tersebut, diperlukan penelitian

lanjutan yang menyajikan analisis menyeluruh mengenai respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga melalui pendekatan simulasi dinamis yang terstruktur dan representatif.

2.2 Respon Beban Listrik Rumah Tangga Terhadap Fluktuasi Tegangan

Berikut merupakan penjelasan mengenai respon beban listrik rumah tangga terhadap fluktuasi tegangan:

Definisi Respon

1. Respon merupakan reaksi yang ditunjukkan oleh beban listrik rumah tangga ketika terjadi perubahan tegangan pada sistem distribusi.
2. Fluktuasi tegangan dapat berupa kenaikan (overvoltage) maupun penurunan tegangan (undervoltage).
3. Dalam penelitian ini, respon diamati melalui perubahan parameter seperti arus, daya, dan karakteristik kerja beban menggunakan simulasi MATLAB/Simulink.

Respon pada Jenis Beban Rumah Tangga

Beban Resistif (misalnya: setrika, pemanas air, lampu pijar)

1. Arus berubah secara langsung sebanding dengan tegangan.
2. Penurunan tegangan menyebabkan daya berkurang sehingga kinerja alat menurun (misalnya panas berkurang).
3. Kenaikan tegangan dapat meningkatkan daya dan berisiko mempercepat kerusakan alat.

Beban Induktif (misalnya: kipas angin, kulkas, mesin cuci)

1. Arus mengalami keterlambatan terhadap tegangan (delay).
2. Penurunan tegangan menyebabkan penurunan torsi pada motor listrik.
3. Dapat menyebabkan kinerja alat tidak optimal dan meningkatkan arus start.

Beban Kapasitif (misalnya: perangkat elektronik dengan kapasitor)

1. Menyimpan energi dalam medan listrik.
2. Arus dapat mendahului tegangan.
3. Sensitif terhadap fluktuasi tegangan, terutama pada perangkat elektronik.

Respon beban listrik pada instalasi rumah tangga terhadap fluktuasi tegangan sangat dipengaruhi oleh jenis serta karakteristik kelistrikan dari beban yang terhubung pada sistem. Beban rumah tangga terdiri atas berbagai kategori, seperti

beban resistif, induktif, dan beban elektronik berbasis komponen semikonduktor, yang masing-masing menunjukkan perilaku operasional yang berbeda ketika terjadi perubahan nilai tegangan suplai. Perbedaan sifat tersebut menyebabkan variasi respon arus, daya, dan performa kerja peralatan listrik selama kondisi fluktuasi tegangan berlangsung.

Sebaliknya, pada saat tegangan suplai melebihi batas kerja yang direkomendasikan (*over-voltage*), Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kinerja rangkaian elektronik, meningkatkan peluang kegagalan komponen, serta memperpendek umur pakai peralatan. Selain itu, tegangan yang lebih tinggi dari nilai normal juga dapat meningkatkan daya disipasi, sehingga berdampak negatif terhadap efisiensi penggunaan energi listrik. Apabila fluktuasi tegangan terjadi secara berulang dalam rentang waktu tertentu, dampak yang ditimbulkan bersifat akumulatif dan cenderung memperbesar risiko kerusakan jangka panjang. Penurunan performa peralatan listrik rumah tangga akibat kondisi tersebut dapat diidentifikasi melalui perubahan pada parameter kelistrikan utama, yaitu tegangan, arus, dan daya listrik. Oleh karena itu, analisis dan pengukuran terhadap parameter-parameter tersebut menjadi langkah penting dalam mengevaluasi pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kinerja dan keandalan beban listrik rumah tangga.

2.3 Dampak Fluktuasi Tegangan

Fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan rumah tangga dapat menyebabkan berbagai dampak terhadap kinerja dan keandalan peralatan listrik. Walaupun perubahan tegangan yang terjadi masih berada dalam batas standar, fluktuasi yang berlangsung secara berulang dan dalam waktu lama dapat memengaruhi cara kerja beban listrik. Salah satu dampak yang sering terjadi akibat fluktuasi tegangan adalah menurunnya kinerja peralatan listrik. Pada kondisi tegangan lebih rendah dari nilai normal (*under-voltage*), peralatan yang menggunakan motor listrik, seperti pompa air, kulkas, dan AC, dapat mengalami penurunan torsi dan efisiensi. Akibatnya, peralatan tersebut harus bekerja lebih berat untuk tetap beroperasi, sehingga arus yang mengalir menjadi lebih besar.

Selain itu, fluktuasi tegangan juga dapat menyebabkan kenaikan arus pada beban tertentu, fluktuasi tegangan sesaat yang terjadinya berulang[12]. Ketika tegangan menurun, beban akan menarik arus yang lebih besar untuk memenuhi

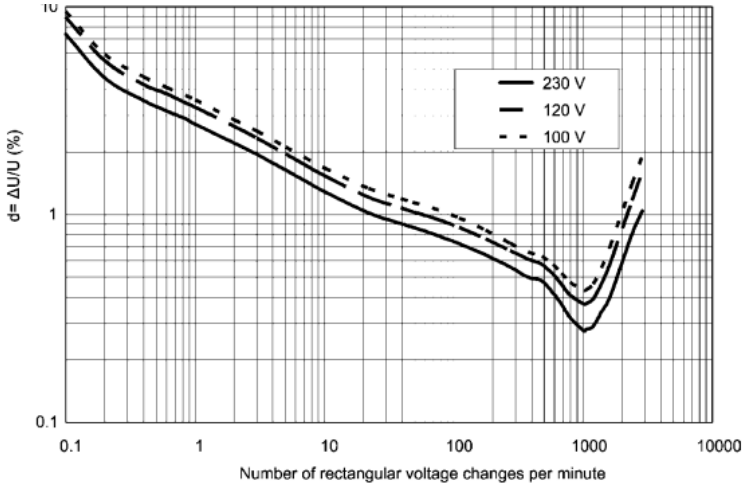
kebutuhan daya. Kondisi ini dapat menimbulkan pemanasan berlebih pada kabel, komponen listrik, dan peralatan rumah tangga, yang dalam jangka panjang dapat mempercepat kerusakan dan mengurangi umur pakai peralatan. Pada kondisi tegangan lebih (*over-voltage*), fluktuasi tegangan dapat berdampak buruk terhadap peralatan elektronik yang sensitif. Peralatan seperti televisi, komputer, dan charger lebih rentan terhadap tegangan tinggi, yang dapat menyebabkan gangguan kerja, kerusakan komponen, bahkan kegagalan fungsi secara permanen.

Fluktuasi tegangan juga sering dikaitkan dengan gangguan kualitas daya berupa *voltage flicker, flicker* merupakan salah satu penyebab menurunnya mutu pelayanan[12]. Gangguan ini ditandai dengan kedipan lampu yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna. Fenomena ini biasanya terjadi akibat perubahan tegangan yang berlangsung cepat dan berulang. Selain itu, fluktuasi tegangan yang terjadi terus-menerus dapat menurunkan keandalan sistem kelistrikan rumah tangga. Hal ini dapat menyebabkan peralatan sering mengalami gangguan serta meningkatkan risiko kerusakan instalasi listrik, sehingga berdampak pada bertambahnya biaya perawatan dan penggantian peralatan. Dengan demikian, fluktuasi tegangan tidak hanya memengaruhi kinerja peralatan listrik rumah tangga, tetapi juga berdampak pada umur pakai peralatan, efisiensi penggunaan energi listrik, dan kenyamanan pengguna

2.4 Fluktuasi Tegangan Pada Sistem Kelistrikan

Perubahan tegangan dapat dipahami sebagai deviasi nilai tegangan r.m.s. terhadap nilai tegangan keadaan stabil yang dihitung dalam bentuk nilai rata-rata selama interval waktu tertentu. [13] . Meskipun derajat perubahan amplitudo tegangan tersebut relatif kecil bila dibandingkan dengan bentuk gangguan tegangan lain, seperti voltage sag maupun voltage swell [14]. Fenomena fluktuasi tegangan umumnya muncul dengan frekuensi kejadian yang tinggi dan dapat berulang dalam rentang waktu yang relatif panjang, kondisi ini berpotensi menurunkan kestabilan tegangan suplai pada instalasi listrik rumah tangga, meskipun besarannya masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan oleh standar kinerja peralatan listrik,pada instalasi rumah tangga, fluktuasi tegangan terutama berkaitan dengan sifat beban yang dinamis dan berubah-ubah, khususnya akibat pengoperasian peralatan listrik berdaya cukup besar yang bekerja secara periodik, seperti motor

listrik pada pompa air, lemari es, mesin cuci, serta berbagai peralatan elektronik lainnya,perubahan arus yang terjadi secara tiba-tiba dan berulang dari beban-beban tersebut akan memengaruhi nilai impedansi efektif pada jaringan distribusi tegangan rendah, sehingga menimbulkan variasi tegangan pada titik sambung pelanggan.



Gambar 2. 1 Perubahan tegangan persegi panjang untuk ambang batas

Gambar 2.1 tersebut menunjukkan hubungan antara frekuensi perubahan tegangan listrik dan besar perubahan tegangan relatif yang masih dapat diterima. Sumbu horizontal menggambarkan jumlah perubahan tegangan berbentuk gelombang kotak per menit, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan perbandingan perubahan tegangan terhadap tegangan normal (dU/U) dalam persen. Grafik menampilkan tiga kurva untuk tegangan normal yang berbeda, yaitu 230 V, 120 V, dan 100 V. Setiap kurva menunjukkan batas maksimum perubahan tegangan yang diperbolehkan agar tidak menimbulkan gangguan, khususnya kedipan cahaya (flicker). Dari grafik terlihat bahwa pada frekuensi perubahan tegangan yang rendah, perubahan tegangan yang relatif besar masih dapat ditoleransi. Namun, seiring meningkatnya jumlah perubahan tegangan per menit, nilai perubahan tegangan yang diizinkan semakin kecil.

Salah satu dampak yang paling sering dikaitkan dengan fluktuasi tegangan pada instalasi rumah tangga adalah munculnya fenomena voltage flicker, yang didefinisikan sebagai kesan ketidakstabilan sensasi visual yang ditimbulkan oleh stimulus cahaya dengan luminansi atau distribusi spektral yang berfluktuasi

terhadap waktu [13]. Fenomena ini terjadi karena sistem penglihatan manusia memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan terang–redup cahaya yang berlangsung secara berulang akibat variasi tegangan. Dalam jangka panjang, keberadaan *voltage flicker* tidak hanya mengurangi kenyamanan visual penghuni rumah, tetapi juga berpotensi memengaruhi tingkat produktivitas dalam aktivitas sehari-hari.Selain berpengaruh terhadap kualitas pencahayaan, Fluktuasi tegangan dan kedipan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang terhubung ke jaringan [15], terutama perangkat elektronik yang membutuhkan suplai tegangan yang stabil. Ketidakstabilan tegangan suplai dapat mengakibatkan penurunan performa operasi, peningkatan rugi-rugi daya, serta mempercepat proses degradasi komponen peralatan. Oleh karena itu, kajian mengenai respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga menjadi penting untuk menjamin keandalan operasional peralatan serta meningkatkan efisiensi dan kualitas pemanfaatan energi listrik di sisi konsumen.

Rumus fluktuasi tegangan dapat dituliskan dengan rumus di bawah ini.

$$\%V = \frac{Vmaks - Vmin}{Vnominal} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan:

%V = Persentase fluktuasi tegangan (%)

V_{maks} = Tegangan maksimum (Volt)

V_{min} = Tegangan minimum (Volt)

$V_{nominal}$ = Tegangan normal sistem (Volt)

2.5 Penyebab Terjadinya Fluktuasi Tegangan

Fluktuasi tegangan pada sistem distribusi listrik rumah tangga tidak terjadi tanpa sebab, melainkan dipengaruhi oleh karakteristik beban yang terhubung pada jaringan. Di antara berbagai jenis beban, beban resistif dan beban induktif merupakan komponen utama yang paling umum digunakan pada instalasi listrik rumah tangga dan memiliki pengaruh signifikan terhadap kestabilan tegangan. Perubahan kondisi operasi pada kedua jenis beban tersebut dapat menyebabkan variasi arus yang berdampak langsung pada nilai tegangan di sisi konsumen Beban resistif, seperti lampu pijar, setrika listrik, dan pemanas air, menyerap daya listrik yang sebanding dengan besar tegangan yang diterapkan. Ketika sejumlah beban

resistif dengan daya besar dioperasikan secara bersamaan, arus total yang mengalir pada jaringan distribusi meningkat. Peningkatan arus ini menimbulkan jatuh tegangan pada saluran akibat adanya impedansi penghantar, sehingga tegangan yang diterima oleh peralatan lain dapat mengalami penurunan, terutama pada kondisi beban puncak.

Sementara itu, beban induktif, seperti motor listrik pada kipas angin, mesin cuci, dan pendingin udara, memiliki karakteristik kebutuhan arus awal yang relatif besar pada saat mulai beroperasi. Arus awal ini dapat menyebabkan penurunan tegangan secara sesaat yang cukup signifikan, khususnya pada jaringan distribusi dengan kapasitas terbatas. Selain itu, sifat induktif beban menyebabkan adanya komponen daya reaktif yang turut memengaruhi kestabilan tegangan dalam sistem. Dengan demikian, kombinasi penggunaan beban resistif dan induktif dalam instalasi listrik rumah tangga berperan penting dalam terjadinya fluktuasi tegangan. Interaksi antara peningkatan arus beban dan karakteristik jaringan distribusi menjadikan pengendalian serta perencanaan beban sebagai faktor yang perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas tegangan yang diterima oleh konsumen.

2.5.1 Penyebab Fluktuasi Tegangan dari Sisi Jaringan Distribusi

Terjadinya fluktuasi tegangan pada sistem tenaga listrik rumah tangga sangat dipengaruhi oleh kondisi serta karakteristik jaringan distribusi yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari sumber ke sisi pelanggan. Jaringan distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan konsumen, sehingga memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan kondisi operasi. Keterbatasan teknis yang terdapat pada jaringan distribusi, baik dari segi peralatan maupun konfigurasi jaringan, dapat mengakibatkan tegangan yang diterima oleh konsumen menyimpang dari nilai normal yang seharusnya.

1. Impedansi Saluran Distribusi

Setiap penghantar pada jaringan distribusi listrik memiliki nilai impedansi yang merupakan gabungan dari resistansi dan reaktansi. Besar kecilnya impedansi saluran dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain panjang penghantar, jenis material yang digunakan, luas penampang kabel, serta konfigurasi jaringan distribusi. Apabila terjadi peningkatan arus akibat bertambahnya beban, maka akan muncul penurunan tegangan sepanjang saluran yang dikenal sebagai *voltage drop*.

Besarnya penurunan tegangan tersebut berbanding lurus dengan arus yang mengalir dan nilai impedansi saluran. Pada jaringan distribusi dengan jarak penyaluran yang relatif panjang, akumulasi impedansi saluran menjadi lebih besar sehingga menyebabkan penurunan tegangan yang lebih signifikan. Kondisi ini akan semakin terasa apabila penghantar yang digunakan memiliki luas penampang kecil, karena nilai resistansi saluran meningkat dan menimbulkan rugi-rugi tegangan yang lebih besar. Akibatnya, tegangan yang diterima oleh konsumen, khususnya pada ujung jaringan, dapat mengalami penyimpangan dari nilai normal dan memicu terjadinya fluktuasi tegangan, terutama saat terjadi perubahan beban.

2. Beban Lebih pada Transformator Distribusi

Beban lebih (*overloading*) pada transformator distribusi terjadi ketika daya listrik yang harus disuplai melebihi kapasitas normal transformator yang telah ditetapkan dalam perancangan. Secara operasional, transformator distribusi dirancang untuk bekerja dalam batas beban tertentu agar mampu mempertahankan kinerja dan kestabilan tegangan. Apabila beban yang terhubung melampaui batas tersebut, arus yang mengalir pada lilitan transformator akan meningkat, sehingga menyebabkan penurunan tegangan pada sisi sekunder dan mengakibatkan tegangan yang diterima konsumen menjadi tidak stabil. Kondisi beban lebih yang berlangsung secara terus-menerus juga berdampak pada peningkatan temperatur transformator akibat bertambahnya rugi-rugi daya pada inti dan lilitan. Kenaikan temperatur ini dapat mempercepat proses degradasi isolasi, menurunkan efisiensi kerja transformator, serta mengurangi umur pakai peralatan. Selain itu, transformator yang beroperasi dalam kondisi overload memiliki risiko gangguan yang lebih tinggi, baik berupa penurunan performa maupun kegagalan fungsi. Dengan demikian, beban lebih pada transformator distribusi tidak hanya berkontribusi terhadap terjadinya fluktuasi tegangan pada jaringan distribusi, tetapi juga berdampak negatif terhadap keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengelolaan beban dan penyesuaian kapasitas transformator menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas daya listrik yang disalurkan kepada konsumen.

3. Kondisi Fisik Jaringan

Kondisi fisik jaringan distribusi listrik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan tegangan yang disalurkan kepada konsumen. Komponen jaringan seperti penghantar, sambungan kabel, dan peralatan pendukung lainnya dapat mengalami penurunan kualitas akibat faktor usia, lingkungan, maupun penggunaan dalam jangka waktu yang lama. Penurunan kualitas tersebut dapat meningkatkan nilai tahanan pada jaringan distribusi, sehingga menimbulkan rugi-rugi tegangan yang lebih besar sepanjang saluran. Sambungan listrik yang tidak terpasang dengan baik, korosi pada penghantar, serta peralatan proteksi yang telah mengalami keausan dapat menyebabkan aliran arus menjadi tidak stabil. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya perubahan tegangan yang tidak diinginkan, khususnya pada titik beban. Apabila kondisi fisik jaringan tidak terpelihara dengan baik, maka potensi terjadinya fluktuasi tegangan akan semakin meningkat dan berdampak pada penurunan kualitas daya listrik yang diterima oleh konsumen.

2.5.2 Penyebab Fluktuasi Tegangan dari Sisi Beban Konsumen

1. Beban Resistif

Beban resistif, yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (resistance) [16]. Contoh beban resistif yang umum dijumpai pada instalasi listrik rumah tangga antara lain lampu pijar, setrika listrik, pemanas air, dan kompor listrik. Dalam kondisi operasi normal, perubahan tegangan pada beban resistif akan langsung memengaruhi besar arus dan daya yang diserap oleh beban tersebut. Ketika beberapa peralatan resistif berdaya besar dioperasikan secara bersamaan, arus total yang mengalir pada jaringan distribusi akan meningkat. Peningkatan arus ini menyebabkan terjadinya jatuh tegangan pada saluran akibat adanya impedansi penghantar, sehingga tegangan yang diterima oleh peralatan lain dapat mengalami penurunan. Meskipun beban resistif cenderung memiliki karakteristik yang stabil dibandingkan beban induktif, akumulasi penggunaan beban resistif dalam jumlah besar tetap dapat berkontribusi terhadap fluktuasi tegangan, khususnya pada jaringan distribusi dengan kapasitas terbatas. Oleh karena itu, keberadaan dan pola penggunaan beban resistif perlu diperhatikan dalam analisis kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik rumah tangga.

2. Beban Induktif

Induktif adalah sifat kerja bebannya yang menimbulkan medan magnet. Beban listrik induktif artinya beban listrik yang dalam proses kerjanya memanfaatkan medan magnet untuk menghasilkan reaksi suatu gerakan [17]. Pada beban ini, arus umumnya tertinggal terhadap tegangan akibat adanya komponen induktansi. Contoh beban induktif yang banyak digunakan pada instalasi listrik rumah tangga antara lain motor listrik pada kipas angin, mesin cuci, pompa air, dan pendingin udara. Karakteristik utama beban induktif adalah kebutuhan arus yang relatif besar, terutama pada saat awal pengoperasian. Arus awal (*starting current*) yang tinggi ini dapat menyebabkan penurunan tegangan secara tiba-tiba pada jaringan distribusi, khususnya apabila kapasitas jaringan terbatas. Selain itu, beban induktif juga menyerap daya reaktif yang berpengaruh terhadap faktor daya sistem, sehingga dapat memperbesar rugi-rugi daya dan memengaruhi kestabilan tegangan. Apabila beban induktif dioperasikan secara terus-menerus pada kondisi tegangan yang tidak stabil, maka dapat terjadi peningkatan arus dan temperatur pada peralatan tersebut. Kondisi ini berpotensi menurunkan efisiensi kerja, mempercepat degradasi isolasi, serta mengurangi umur pakai peralatan listrik. Oleh karena itu, keberadaan beban induktif memiliki kontribusi yang signifikan terhadap terjadinya fluktuasi tegangan pada sistem distribusi listrik rumah tangga dan perlu mendapat perhatian dalam analisis kualitas daya listrik.

3. Perubahan Beban Secara Mendadak

Perubahan beban secara mendadak merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan fluktuasi tegangan pada sistem distribusi listrik rumah tangga. Kondisi ini terjadi ketika peralatan listrik dengan daya cukup besar dihubungkan atau dilepaskan dari jaringan dalam waktu yang singkat, sehingga mengakibatkan perubahan arus yang signifikan. Perubahan arus yang berlangsung secara tiba-tiba tersebut dapat memengaruhi keseimbangan sistem dan menyebabkan tegangan pada titik beban mengalami kenaikan atau penurunan sesaat.

Dalam jaringan distribusi dengan kapasitas terbatas, perubahan beban yang cepat akan memperbesar pengaruh impedansi saluran terhadap tegangan. Ketika arus meningkat secara mendadak, jatuh tegangan pada saluran distribusi juga meningkat, sehingga tegangan yang diterima oleh peralatan listrik lainnya dapat

menurun sementara. Sebaliknya, ketika beban besar dilepaskan secara tiba-tiba, tegangan dapat mengalami kenaikan sesaat sebelum kembali ke kondisi stabil. Perubahan beban yang terjadi secara berulang dan tidak teratur dapat menimbulkan kondisi tegangan yang tidak stabil dalam jangka waktu tertentu. Hal ini berpotensi mengganggu kinerja peralatan listrik, terutama peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan. Oleh karena itu, pola penggunaan beban dan pengelolaan daya menjadi faktor penting dalam upaya menjaga kestabilan tegangan dan kualitas daya listrik pada sistem distribusi rumah tangga..

2.6 Klasifikasi Fluktuasi Tegangan

Fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan merujuk pada perubahan cepat nilai tegangan di sekitar level normal pada jaringan distribusi. Fenomena ini dapat diklasifikasikan berdasarkan arah penyimpangan dari tegangan normal, yaitu apakah terjadi peningkatan sementara (*over-voltage*) atau penurunan sementara (*under-voltage*). Selain itu, fluktuasi juga dapat dikategorikan berdasarkan karakteristik temporal, mencakup durasi dan frekuensi kejadian, apakah berlangsung singkat, berulang dalam interval pendek, atau terjadi dalam periode yang lebih panjang. Klasifikasi ini memiliki tujuan utama untuk mempermudah pemahaman terhadap berbagai jenis fluktuasi tegangan serta dampaknya terhadap performa beban listrik, khususnya pada instalasi rumah tangga. Respon tiap beban terhadap fluktuasi bervariasi sesuai karakteristiknya; misalnya, beban resistif umumnya mengalami perubahan daya yang proporsional dengan tegangan, sedangkan beban induktif atau non-linear dapat menunjukkan variasi arus puncak, penurunan faktor daya, serta munculnya distorsi harmonik.

Pemahaman mengenai tipe dan sifat fluktuasi tegangan juga menjadi dasar penting untuk perancangan sistem proteksi dan peningkatan kualitas daya. Dengan mengetahui karakteristik fluktuasi, insinyur listrik dapat merencanakan strategi mitigasi yang tepat, seperti penggunaan stabilizer tegangan, filter harmonik, atau perlindungan khusus untuk peralatan sensitif. Hal ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap respon dinamis beban terhadap variasi tegangan, sehingga kinerja peralatan rumah tangga tetap optimal dan aman. Secara keseluruhan, klasifikasi fluktuasi tegangan tidak hanya membantu dalam memahami fenomena kelistrikan yang kompleks, tetapi juga menjadi acuan penting

dalam evaluasi kualitas daya, prediksi dampak pada beban, serta perencanaan perbaikan sistem distribusi. Variasi karakteristik fluktuasi, baik dari segi arah maupun durasi dan frekuensi kejadian, berimplikasi pada perbedaan respon beban, sehingga analisis yang tepat sangat diperlukan untuk menjaga kinerja dan umur operasional peralatan listrik rumah tangga.

2.6.1 Fluktuasi Tegangan Rendah (Under-Voltage)

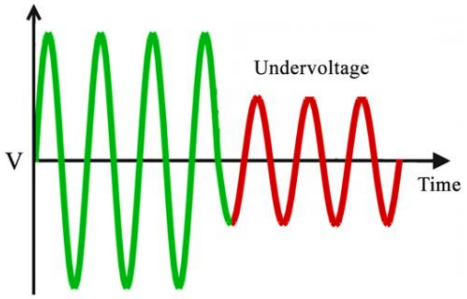
Fluktuasi tegangan rendah, atau yang dikenal dengan istilah under-voltage, adalah kondisi di mana tegangan listrik berada di bawah nilai normal dalam jangka waktu tertentu. Kejadian ini biasanya disebabkan oleh beberapa faktor, seperti meningkatnya arus beban, tingginya impedansi saluran distribusi, atau adanya penurunan tegangan dari sumber jaringan utama. Dalam konteks instalasi listrik rumah tangga, under-voltage sering terjadi ketika beberapa perangkat listrik berdaya besar dioperasikan secara bersamaan, misalnya pompa air, pendingin udara (*AC*), setrika, dan mesin cuci. Aktivitas simultan ini meningkatkan arus total yang ditarik dari jaringan, sehingga tegangan di titik sambungan pelanggan menurun di bawah level normal. Dampak *under-voltage* terhadap beban listrik rumah tangga berbeda-beda tergantung jenis peralatannya. Pada peralatan bermotor, seperti pompa air dan kulkas, penurunan tegangan dapat menimbulkan penurunan torsi, peningkatan arus start-up, dan berkurangnya efisiensi kerja. Kondisi ini jika terjadi terus-menerus dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada kumparan motor dan memperpendek umur peralatan.

Sementara itu, pada peralatan elektronik, kondisi *under-voltage* dapat memicu gangguan operasional, seperti perilaku tidak stabil, kegagalan fungsi, atau aktifnya mekanisme proteksi internal yang memutus aliran listrik untuk mencegah kerusakan. Peralatan elektronik sensitif, seperti komputer, televisi, dan peralatan komunikasi, sangat rentan terhadap penurunan tegangan, sehingga kestabilan suplai listrik menjadi hal penting untuk menjaga kinerja dan umur perangkat.

Selain itu, under-voltage juga berdampak pada efisiensi sistem distribusi listrik secara keseluruhan. Saat tegangan turun, beban listrik akan menarik arus lebih besar untuk mempertahankan daya yang dibutuhkan, yang dapat meningkatkan rugi-rugi daya pada saluran dan transformator. Hal ini tidak hanya menurunkan efisiensi energi, tetapi juga meningkatkan risiko pemanasan berlebih pada komponen

jaringan. Fenomena under-voltage dapat diamati melalui pengukuran tegangan menggunakan visualisasi data, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pemahaman terhadap kondisi ini penting untuk menilai respon beban terhadap variasi tegangan, serta menjadi dasar dalam perancangan sistem proteksi, stabilisasi tegangan, dan mitigasi gangguan pada instalasi listrik rumah tangga.

Dengan demikian, pengelolaan under-voltage merupakan aspek krusial dalam menjamin kualitas daya listrik, untuk memastikan peralatan rumah tangga bekerja secara optimal, umur operasional terjaga, dan sistem distribusi listrik berfungsi secara aman dan efisien.



Gambar 2. 2 Fluktuasi tegangan rendah atau under-voltage

Gambar 2.2 tersebut menggambarkan terjadinya kondisi *under-voltage* pada sistem tenaga listrik yang diamati terhadap perubahan waktu. Pada tahap awal, nilai tegangan masih berada pada tingkat normal yang ditunjukkan oleh amplitudo gelombang yang stabil. Selanjutnya, amplitudo gelombang mengalami penurunan sehingga tegangan berada di bawah nilai normal. Kondisi ini menunjukkan berkurangnya suplai energi listrik ke beban dan dapat memengaruhi kinerja peralatan apabila terjadi dalam durasi tertentu.

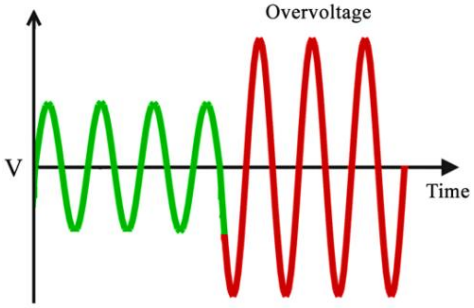
2.6.2 Fluktuasi Tegangan Tinggi (Over-Voltage)

Fluktuasi tegangan tinggi, yang biasa disebut over-voltage, terjadi ketika tegangan pada sistem listrik melebihi batas normal yang telah ditetapkan. Kondisi ini dapat muncul sebagai akibat dari beberapa faktor, antara lain perubahan beban yang tiba-tiba, kesalahan pengaturan tegangan pada jaringan distribusi, atau gangguan eksternal dari sisi pasokan listrik, seperti lonjakan akibat petir atau switching peralatan tegangan tinggi. Meskipun kondisi over-voltage relatif jarang

terjadi pada instalasi rumah tangga, fenomena ini memiliki potensi menimbulkan dampak yang serius terhadap peralatan listrik yang terhubung. Peralatan elektronik rumah tangga, termasuk televisi, komputer, dan perangkat pengisi daya, sangat rentan terhadap tegangan berlebih. Arus dan tegangan yang melebihi batas normal dapat menimbulkan stres pada komponen elektronik, mempercepat degradasi material, dan menurunkan keandalan alat. Dalam situasi ekstrem, over-voltage dapat menyebabkan kerusakan permanen, seperti kegagalan sirkuit internal atau terbakar, sehingga peralatan menjadi tidak dapat digunakan kembali.

Selain memengaruhi perangkat elektronik, over-voltage juga dapat berdampak pada kinerja dan efisiensi sistem distribusi listrik rumah tangga. Tegangan yang tinggi menyebabkan peningkatan arus bocor dan rugi-rugi daya pada kabel dan transformator lokal, yang berpotensi menimbulkan pemanasan berlebih dan menurunkan efisiensi energi. Peralatan bermotor, seperti kulkas, pompa air, dan AC, juga dapat mengalami perubahan torsi motor dan peningkatan keausan mekanis akibat tegangan yang lebih tinggi dari normal.

Upaya pencegahan over-voltage sangat penting untuk menjaga keamanan dan umur operasional peralatan listrik. Penggunaan stabilizer tegangan, surge protector, dan pemutus arus otomatis merupakan langkah mitigasi yang efektif untuk melindungi peralatan dari lonjakan tegangan. Selain itu, pemantauan tegangan secara berkala melalui alat pengukur atau sistem monitoring dapat memberikan peringatan dini, sehingga tindakan preventif dapat dilakukan sebelum kerusakan terjadi. Dengan demikian, meskipun jarang muncul pada instalasi rumah tangga, pemahaman mengenai fenomena over-voltage sangat penting. Pengetahuan ini tidak hanya membantu dalam perlindungan peralatan elektronik dan listrik, tetapi juga berperan dalam menjaga stabilitas sistem distribusi, efisiensi energi, dan keselamatan pengguna.

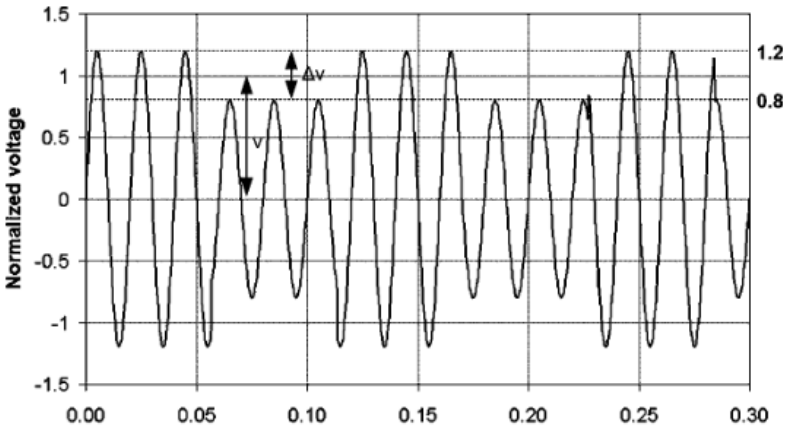


Gambar 2. 3 Fluktuasi tegangan tinggi atau over-voltage

Gambar tersebut menggambarkan fenomena *over-voltage* pada sistem tenaga listrik yang diamati terhadap perubahan waktu. Pada kondisi awal, tegangan masih berada pada tingkat normal dengan amplitudo gelombang yang stabil. Selanjutnya, amplitudo gelombang meningkat sehingga nilai tegangan melampaui batas normal yang ditetapkan. Kondisi *over-voltage* ini mencerminkan adanya tegangan berlebih yang berpotensi menimbulkan gangguan pada isolasi dan menurunkan keandalan peralatan listrik apabila berlangsung dalam jangka waktu tertentu

2.6.3 Fluktuasi Tegangan Berulang dan Berkala

Berdasarkan karakteristik waktu terjadinya, fluktuasi tegangan dapat diklasifikasikan sebagai berulang dan bersifat periodik. Jenis fluktuasi ini dicirikan oleh perubahan tegangan yang berlangsung dengan cepat dan terus-menerus dalam pola yang berulang. Di lingkungan rumah tangga, kondisi ini umumnya terkait dengan pengoperasian perangkat listrik yang bekerja secara siklis, seperti motor kompresor pada pendingin udara (AC), pompa air, atau mesin cuci dengan siklus otomatis. Aktivitas peralatan tersebut menyebabkan perubahan beban listrik yang dinamis, yang pada gilirannya memicu variasi tegangan secara berulang.



Gambar 2. 4 Perubahan tegangan persegi panjang d = V/V = 40 %, frekuensi modulasi 8,8 Hz, 17,6 perubahan/detik

Gambar 2.4 tersebut memperlihatkan variasi tegangan terormalisasi terhadap waktu, di mana amplitudo gelombang sinusoidal tidak bersifat konstan. Meskipun frekuensi sistem tetap, perubahan amplitudo yang terjadi menunjukkan adanya ketidakstabilan tegangan di sekitar nilai normal. Kondisi ini mencerminkan

fenomena fluktuasi tegangan yang berpotensi memengaruhi kualitas daya listrik serta kinerja peralatan yang terhubung.

Fenomena fluktuasi tegangan yang bersifat berulang sering memunculkan voltage flicker, yang dapat diamati sebagai kedipan atau perubahan intensitas cahaya pada lampu penerangan. Hal ini mencerminkan ketidakstabilan tegangan yang diakibatkan oleh perubahan beban secara cepat, meskipun amplitudo tegangan yang berubah relatif kecil jika dibandingkan dengan gangguan lain seperti voltage sag atau swell. Tingkat keparahan flicker dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti frekuensi fluktuasi, amplitudo perubahan tegangan, dan sensitivitas peralatan penerangan, khususnya lampu dengan ballast atau driver elektronik. Selain menimbulkan efek visual, fluktuasi tegangan berulang dapat memengaruhi kinerja dan umur operasional peralatan listrik. Contohnya, motor induksi yang sering menghadapi perubahan tegangan berulang berpotensi mengalami pemanasan berlebih, sedangkan lampu dengan ballast elektromagnetik dapat mengalami penurunan masa pakai akibat flicker yang terus-menerus. Oleh karena itu, analisis terhadap fluktuasi tegangan berulang menjadi penting dalam evaluasi kualitas daya listrik pada instalasi rumah tangga, baik untuk perancangan sistem proteksi maupun penerapan alat mitigasi flicker.

Secara teknis, pola fluktuasi berulang juga memberikan informasi mengenai karakteristik dinamis jaringan listrik di tingkat konsumen. Dengan mempelajari pola ini, sumber perubahan beban yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan dapat diidentifikasi, respons beban terhadap variasi tegangan dapat dianalisis, dan peralatan kompensasi seperti stabilizer atau filter harmonik dapat dirancang untuk meningkatkan stabilitas tegangan. Dengan demikian, pemahaman mengenai fluktuasi tegangan berulang tidak hanya penting dari perspektif kenyamanan visual, tetapi juga berperan dalam perlindungan peralatan dan optimalisasi efisiensi energi pada sistem distribusi listrik rumah tangga

2.7 Teori Dasar Listrik Bolak Balik

Arus bolak-balik (listrik *AC = alternating current*) adalah arus listrik dimana besar dan arah arusnya berubah-ubah secara bolak-balik. Arus bolak balik dihasilkan oleh generator yang menghasilkan tegangan bolak-balik dan biasanya dalam bentuk fungsi sinusoida (sinus atau cosinus) karena ini yang

memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien [18] . Dalam sistem distribusi tenaga listrik, arus bolak-balik digunakan secara luas karena memiliki keunggulan dalam efisiensi penyaluran daya serta kemudahan dalam pengaturan level tegangan melalui penggunaan transformator. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai prinsip dasar dan karakteristik sistem listrik AC menjadi aspek yang mendasar dalam analisis kinerja dan kualitas penyaluran energi listrik. Pada sektor rumah tangga, energi listrik yang disuplai kepada konsumen umumnya berbentuk arus bolak-balik dengan nilai tegangan dan frekuensi yang telah ditetapkan berdasarkan standar yang berlaku. Sistem AC ditandai oleh perubahan nilai tegangan dan arus yang terjadi secara periodik seiring dengan berjalannya waktu, baik dari segi besarannya maupun arah alirannya. Fenomena ini umumnya direpresentasikan dalam bentuk gelombang sinusoidal yang memiliki parameter utama berupa amplitudo, frekuensi, periode, serta sudut fasa, yang menjadi dasar dalam analisis sistem tenaga listrik.

Selain karakteristik gelombang, sistem listrik arus bolak-balik juga melibatkan keterkaitan fasa antara tegangan dan arus, yang dipengaruhi oleh sifat beban listrik yang terhubung pada sistem, baik bersifat resistif, induktif, maupun kapasitif. Setiap jenis beban tersebut menghasilkan respon listrik yang berbeda, yang mempengaruhi nilai sudut fasa serta faktor daya sistem secara keseluruhan. Kondisi ini menunjukkan bahwa parameter-parameter listrik pada sistem AC saling berkaitan dan harus dianalisis secara komprehensif dalam evaluasi performa sistem tenaga listrik. Dalam praktiknya variasi penggunaan beban listrik pada instalasi rumah tangga menyebabkan tegangan suplai yang diterima oleh peralatan tidak selalu berada pada kondisi normal. Perubahan tersebut dapat memicu terjadinya fluktuasi tegangan yang bersifat kecil namun berlangsung secara berulang. Oleh sebab itu, penguasaan terhadap parameter utama sistem listrik AC—seperti nilai tegangan efektif, arus efektif, frekuensi, sudut fasa, dan faktor daya—menjadi sangat penting untuk mendukung analisis respon beban listrik. Pemahaman ini diperlukan guna mengkaji dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja operasional, efisiensi energi, serta keandalan peralatan listrik rumah tangga

2.7.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah besarnya beda energi potensial antara dua buah titik yang diukur dalam satuan volt (V)[19]. Adanya perbedaan potensial ini memungkinkan energi listrik disalurkan dari sumber menuju beban melalui media penghantar. Pada sistem kelistrikan rumah tangga, suplai listrik umumnya menggunakan tegangan bolak-balik (AC) satu fasa dengan nilai normal 220 V dan frekuensi 50 Hz, sebagaimana ditetapkan dalam standar distribusi tenaga listrik nasional. Secara teoritis, nilai tegangan yang disuplai ke konsumen diharapkan berada dalam kondisi stabil dan mendekati nilai normal. Akan tetapi dalam kondisi operasional nyata, tegangan sering mengalami variasi akibat perubahan beban, karakteristik jaringan distribusi, serta faktor jarak antara sumber dan titik beban. Variasi tegangan tersebut dapat berupa fluktuasi yang menyebabkan perubahan nilai tegangan pada sisi beban. Kondisi ini berpotensi menurunkan kinerja peralatan listrik serta memengaruhi keandalan sistem secara keseluruhan, sehingga tegangan menjadi salah satu parameter penting dalam analisis kualitas daya listrik. Dengan demikian rumus tegangan adalah sebagai berikut:[19]

$$V = \frac{E}{Q} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots. (2.2)$$

Dimana : V = Tegangan dalam satuan volt (V)

E = Energi dalam satuan joule (J)

Q = Muatan dalam satuan coulomb (C)

2.7.2 Arus Listrik

Arus Listrik adalah perbandingan antara tegangan masukan dengan hambatan rangkaian listrik. Arus listrik tebentuk adanya aliran-aliran muatan listrik yang mengalir pada medium tertentu, pembagian arus litrik dibagi menjadi 2 bagian : arus listrik searah (Direct Curent) dan arus listrik bolak-balik (Alternathing Current). Satuan dari arus listrik adalah Amper [20]. Impedansi merupakan kombinasi dari resistansi dan reaktansi, yang masing-masing dipengaruhi oleh sifat listrik beban. Sebagian besar peralatan listrik rumah tangga memiliki karakteristik induktif, terutama yang menggunakan motor listrik, seperti kipas angin, kulkas, mesin cuci, dan pendingin udara. Pada beban induktif, arus listrik tidak sefasa dengan tegangan, melainkan tertinggal sebesar sudut tertentu yang dikenal sebagai sudut fasa. Kondisi ini mengakibatkan munculnya daya reaktif dalam sistem. Fluktuasi tegangan pada sisi sumber akan

menyebabkan perubahan arus yang mengalir pada beban. Penurunan tegangan dapat memicu peningkatan arus pada kondisi tertentu, sedangkan kenaikan tegangan berpotensi meningkatkan arus dan rugi-rugi daya. Apabila kondisi ini terjadi secara berulang, maka dapat meningkatkan pemanasan dan mempercepat degradasi peralatan listrik, arus listrik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.[19]

$$I = \frac{Q}{t} \quad \ldots\ldots (2.3)$$

Dimana: I = Arus listrik dalam satuan ampere

Q = Muatan listrik dalam satuan coulomb

t = Waktu dalam satuan detik (s)

2.7.3 Daya Listrik

Daya listrik merupakan besaran fisis yang menunjukkan tingkat pemanfaatan energi listrik oleh suatu beban dalam selang waktu tertentu. Parameter ini memiliki peran penting dalam kajian sistem kelistrikan karena berkaitan langsung dengan konsumsi energi, efisiensi operasional, serta kinerja peralatan listrik. Oleh sebab itu, analisis daya listrik menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam evaluasi sistem tenaga listrik, khususnya pada sisi pemanfaatan energi oleh konsumen. Pada sistem arus bolak-balik satu fasa, konsep daya listrik tidak dinyatakan sebagai satu nilai tunggal, melainkan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Daya aktif merepresentasikan porsi daya yang benar-benar digunakan oleh beban untuk menghasilkan kerja nyata, seperti energi panas, cahaya, maupun energi mekanik. Daya reaktif merupakan komponen daya yang tidak dimanfaatkan secara langsung oleh beban, namun diperlukan untuk membentuk dan mempertahankan medan listrik atau medan magnet pada elemen induktif dan kapasitif. Sementara itu, daya semu menggambarkan total daya yang harus disuplai oleh sumber listrik kepada beban, yang merupakan hasil kombinasi dari daya aktif dan daya reaktif.

Pengelompokan daya listrik ke dalam ketiga komponen tersebut memberikan dasar yang penting dalam analisis sistem arus bolak-balik. Setiap komponen daya memiliki pengaruh yang berbeda terhadap performa sistem serta efisiensi penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, pemahaman yang menyeluruh mengenai daya aktif, daya reaktif, dan daya semu menjadi aspek fundamental dalam

perancangan instalasi listrik, analisis kualitas daya, serta pengkajian respon beban terhadap perubahan dan fluktuasi tegangan pada sistem satu fasa

1. Daya aktif

Daya aktif adalah besar nilai suatu daya rata rata yang sesuai dengan kekuatan tenaga yang dikonsumsi oleh beban [21]. Energi listrik yang termasuk dalam daya aktif akan dikonversi menjadi bentuk energi lain yang berguna, seperti energi termal pada peralatan pemanas, energi cahaya pada sistem penerangan, maupun energi mekanik pada mesin dan motor listrik. Oleh sebab itu, daya aktif merepresentasikan tingkat pemanfaatan energi listrik secara langsung oleh peralatan yang terhubung pada sistem. Dalam sistem arus bolak-balik (AC), besarnya daya aktif ditentukan oleh besaran tegangan dan arus serta sudut pergeseran fasa antara keduanya. Pada kondisi tertentu, khususnya ketika beban memiliki karakteristik induktif atau kapasitif, tidak seluruh daya yang disuplai oleh sumber listrik dapat digunakan secara optimal. Faktor daya berperan sebagai parameter yang menunjukkan proporsi daya yang benar-benar dikonversikan menjadi kerja efektif. Nilai faktor daya yang semakin mendekati satu menandakan peningkatan efisiensi pemanfaatan daya aktif pada beban. Daya aktif dinyatakan dalam satuan watt (W) dan merupakan besaran daya yang secara langsung diukur oleh alat pencatat energi listrik, seperti kWh meter, yang digunakan dalam sistem penagihan konsumsi energi. Dengan demikian, daya aktif memiliki peran strategis dalam evaluasi efisiensi penggunaan energi listrik, baik pada sistem distribusi tenaga listrik maupun pada pemanfaatannya di lingkungan rumah tangga dan sektor industri. Daya aktif dapat dirumuskan sebagai berikut.[19]

Daya aktif $= P = V.I\ cos\ \theta\ (W)$ ……. (2.4)

Dimana : P = daya aktif,

V = tegangan listrik efektif (Volt)

I = arus listrik efektif (Ampere)

Cos θ = faktor daya

2. Daya reaktif

Daya aktif adalah besar nilai dari daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan suatu medan magnet itu maka akan terbentuk fluks medan magnet untuk mendukung suatu fungsi, misalnya menggerakkan motor

[21]. Peralatan seperti kulkas, mesin cuci, kipas angin, dan pendingin udara membutuhkan daya reaktif untuk mendukung proses operasional internalnya. Energi yang terkait dengan daya reaktif tidak dikonsumsi secara permanen, melainkan tersimpan sementara dan kemudian dikembalikan ke sistem sumber dalam satu siklus periodik. Dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik (AC), besarnya daya reaktif berkaitan dengan pergeseran sudut fasa antara tegangan dan arus pada beban. Ketika terjadi fluktuasi tegangan pada jaringan distribusi rumah tangga, nilai arus dan sudut fasa cenderung mengalami perubahan, sehingga berdampak langsung terhadap besaran daya reaktif yang muncul pada beban. Kondisi ini menyebabkan aliran daya reaktif yang berlebihan atau tidak stabil, yang pada akhirnya dapat menurunkan faktor daya serta memengaruhi kinerja dan efisiensi peralatan listrik rumah dapat dirumuskan dengan[19].

Daya reaktif $= Q = V.I\ sin\ \theta\ (VAR)$ ……. (2.5)

Dimana : Q = daya reaktif,

V = tegangan listrik efektif (Volt)

I = arus listrik efektif (Ampere)

Sin θ = faktor daya

Daya reaktif dinyatakan dalam satuan volt-ampere reaktif (VAR) dan tidak dicatat sebagai konsumsi energi oleh kWh meter. Meskipun demikian, peningkatan daya reaktif akibat fluktuasi tegangan dapat memperbesar arus pada sistem, meningkatkan rugi-rugi daya pada jaringan, serta mempercepat penurunan kualitas tegangan di sisi pelanggan. Oleh karena itu, analisis daya reaktif menjadi aspek penting dalam kajian pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga, khususnya dalam upaya meningkatkan efisiensi sistem dan menjaga kualitas daya listrik pada jaringan distribusi.

3. Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang dikeluarkan dari sumber listrik atau yang diserap oleh beban [21]. Besaran ini menunjukkan kapasitas daya yang harus dipenuhi oleh sumber listrik guna melayani kebutuhan beban, tanpa memperhatikan proporsi daya yang benar-benar dikonversikan menjadi kerja nyata. Dalam lingkungan rumah tangga, daya semu menggambarkan tingkat kemampuan sistem kelistrikan dalam menyuplai berbagai peralatan listrik yang beroperasi secara

bersamaan. Pada jaringan distribusi listrik rumah tangga, nilai daya semu dipengaruhi oleh perubahan tegangan dan arus yang terjadi akibat fluktuasi tegangan. Variasi tegangan yang berlangsung secara berulang dapat memicu perubahan arus pada beban, sehingga menyebabkan dinamika nilai daya semu. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan antara kapasitas daya yang disediakan dan daya yang dimanfaatkan secara efektif oleh beban, khususnya pada peralatan listrik yang memiliki sifat induktif dan kapasitif. Daya semu dinyatakan dalam satuan volt-ampere (VA) dan secara matematis ditentukan oleh hasil perkalian nilai efektif tegangan dan arus. Meskipun tidak sepenuhnya berubah menjadi energi yang berguna, daya semu memiliki peranan penting dalam perencanaan serta evaluasi sistem kelistrikan rumah tangga. Peningkatan nilai daya semu akibat fluktuasi tegangan dapat memperbesar kebutuhan kapasitas sistem, meningkatkan rugi-rugi daya pada jaringan, serta memengaruhi kinerja dan keandalan peralatan listrik. Oleh karena itu, kajian terhadap daya semu menjadi bagian penting dalam analisis dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga dan kualitas daya secara menyeluruh, dirumuskan dengan.

Daya Semu = $S = V.I\ (VA)$ ……. (2.6)

Dimana : S = daya semu

V = tegangan listrik efektif (Volt)

I = arus listrik efektif (Ampere)

2.7.4 Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau sudut phasa antara daya aktif dan daya semu/daya total [22]. Kualitas daya dalam sistem tenaga merupakan hal yang sangat penting untuk menjaga stabilistas dan continuitas sistem tenaga listrik [23]. Diantara permasalah kualitas daya adalah penurunan nilai faktor daya yang menyebabkan konsumsi daya menjadi berlebih. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan daya listrik maka kita harus meminimalkan keberadaan daya reaktif Faktor daya adalah ukuran efisiensi penggunaan daya listrik dalam suatu sistem. Secara teknis, faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif (real power) dengan daya semu (apparent power) dalam suatu sirkuit listrik. Daya aktif adalah daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja, seperti

menggerakkan motor atau menyuplai energi ke perangkat elektronik, sementara daya semu adalah gabungan dari daya aktif dan daya reaktif (reactive power), yang dihasilkan oleh komponen induktif atau kapasitif dalam sistem. Rumus faktor daya adalah :

$$PF = \frac{p}{s} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots . \ldots \ldots . (2.7)$$

Di mana: PF = Faktor daya (power factor)

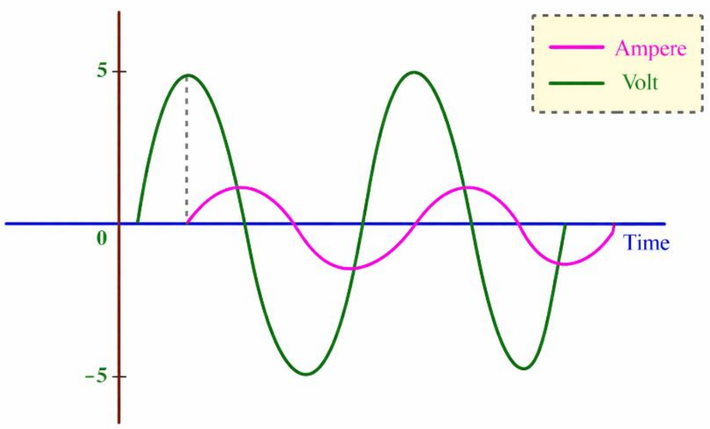
P = Daya aktif (Watt)

S = Daya semu (Volt-Ampere)

Faktor daya dinyatakan dalam nilai antara 0 hingga 1 atau dalam bentuk persen. Nilai faktor daya yang mendekati 1 menunjukkan bahwa sistem menggunakan daya listrik dengan efisien. Jenis-Jenis Faktor Daya.

1. Faktor Daya Lagging (Tertinggal):

   Terjadi ketika beban bersifat induktif, seperti motor listrik, transformator, atau ballast pada lampu. Pada kondisi ini, arus tertinggal dari tegangan. Faktor daya lagging sering ditemukan dalam sistem industri atau rumah tangga yang memiliki banyak perangkat dengan beban induktif



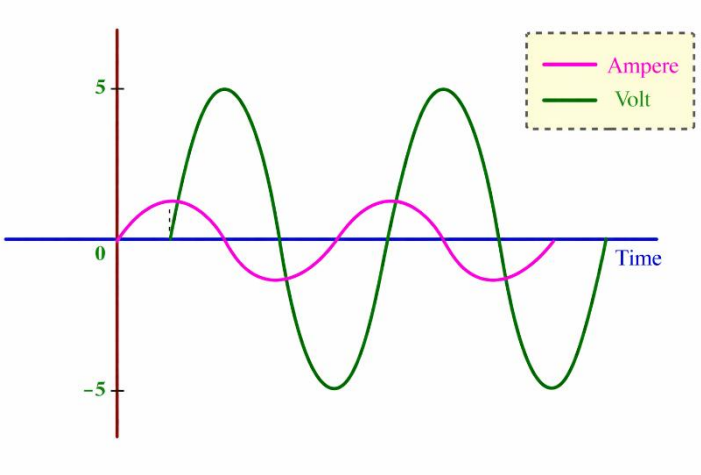
Gambar 2. 5 Gelombang Faktor Daya Lagging (tertinggal)

Pada Gambar 2.7 menampilkan gelombang Faktor Daya Lagging (tertinggal) dimana arus tertinggal dari tegangan. Ini diakibatkan oleh beban rangkaian yang bersifat induktif.

2. Faktor Daya Leading (Mendahului):

   Terjadi ketika beban bersifat kapasitif, seperti kapasitor bank atau beberapa

perangkat elektronik. Pada kondisi ini, arus mendahului tegangan. Faktor daya leading biasanya jarang terjadi di sistem rumah tangga.

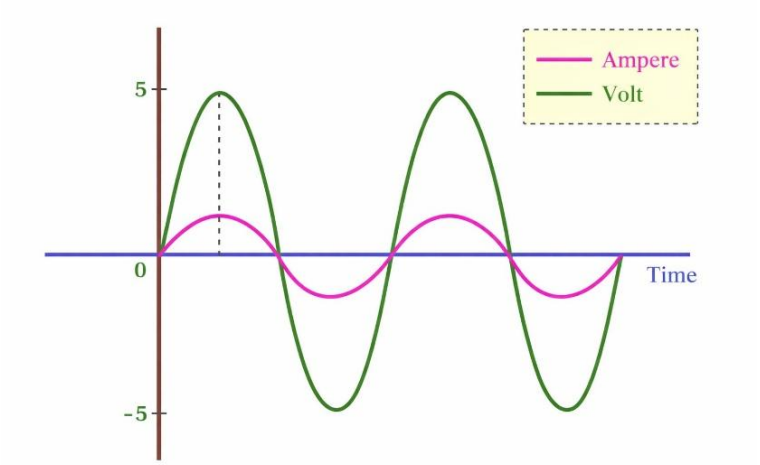


Gambar 2. 6 Gelombang Faktor Daya Leading (Mendahului)

Pada Gambar 2.8 menampilkan gelombang Faktor Daya Leading (mendahului) dimana arus mendahului tegangan. Ini diakibatkan oleh beban rangkaian yang bersifat kapasitif.

3. Faktor Daya Unity (1 atau Mendekati 1):

Terjadi ketika beban bersifat resistif murni, seperti pemanas listrik atau lampu pijar. Pada kondisi ini, tidak ada daya reaktif, sehingga seluruh daya semu digunakan untuk menghasilkan daya aktif.



Gambar 2. 7 Gelombang Faktor Daya Unity

Pada Gambar 2.8 menampilkan gelombang Faktor Daya Unity dimana arus dan tegangan memiliki fase yang sama. Ini diakibatkan oleh beban rangkaian yang bersifat resistif.

Faktor daya merupakan indikator penting dalam efisiensi penggunaan daya listrik. Sistem dengan faktor daya tinggi menunjukkan bahwa daya listrik digunakan secara optimal untuk melakukan kerja, sementara faktor daya rendah menunjukkan adanya pemborosan energi akibat daya reaktif yang besar. Upaya meningkatkan faktor daya, seperti penggunaan kapasitor bank atau filter harmonis, tidak hanya membantu mengurangi rugi-rugi energi dan biaya listrik tetapi juga meningkatkan keandalan dan kapasitas sistem kelistrikan secara keseluruhan.

2.8 Keterkaitan Parameter Tegangan, Arus, dan Daya

Tegangan, arus, dan daya merupakan parameter kelistrikan yang memiliki keterkaitan erat dalam merepresentasikan kondisi operasi beban listrik pada instalasi rumah tangga. Ketiga besaran tersebut secara bersama-sama menggambarkan karakteristik kelistrikan beban yang berkaitan dengan proses penyaluran dan pemanfaatan energi listrik dalam kondisi operasi tertentu. Oleh karena itu, perubahan yang terjadi pada salah satu parameter akan berdampak langsung terhadap parameter lainnya. Perubahan nilai tegangan suplai, baik berupa kenaikan maupun penurunan, akan menyebabkan terjadinya perubahan arus listrik yang mengalir pada beban. Besarnya respons arus yang timbul sangat dipengaruhi oleh sifat dan karakteristik beban, seperti beban resistif, induktif, maupun

kombinasi keduanya. Variasi arus tersebut selanjutnya berpengaruh terhadap perubahan daya listrik yang diserap oleh beban, baik dalam bentuk daya aktif yang dimanfaatkan untuk menghasilkan kerja nyata, maupun daya reaktif yang berkaitan dengan pembentukan medan listrik dan medan magnet pada elemen beban.

Keterkaitan antara parameter tegangan, arus, dan daya tersebut menjadi dasar konseptual yang penting dalam analisis sistem kelistrikan rumah tangga. Hubungan ini tidak hanya menentukan tingkat konsumsi energi listrik, tetapi juga berpengaruh terhadap efisiensi sistem, faktor daya, serta keandalan operasional peralatan listrik. Dengan demikian, pemahaman terhadap interaksi ketiga parameter tersebut diperlukan dalam menganalisis dan mengevaluasi dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja sistem kelistrikan rumah tangga secara menyeluruh.

2.9 Beban Listrik Rumah Tangga

Beban listrik pada sektor rumah tangga merupakan elemen dominan di sisi pelanggan yang secara langsung memengaruhi pola dan karakter konsumsi energi listrik. Beban tersebut tersusun dari berbagai jenis peralatan listrik yang memiliki fungsi, kapasitas, serta sifat kelistrikan yang beragam, sehingga masing-masing menunjukkan respon yang berbeda terhadap perubahan kondisi tegangan suplai. Keberagaman karakteristik ini menyebabkan variasi perilaku arus dan daya listrik, khususnya ketika terjadi perubahan atau fluktuasi tegangan pada jaringan. Pada sistem distribusi bertegangan rendah, keragaman dan dinamika beban listrik rumah tangga berperan penting terhadap tingkat kestabilan tegangan serta kualitas daya listrik yang diterima oleh konsumen. Perubahan pola pengoperasian peralatan listrik, baik secara terpisah maupun bersamaan, dapat mengakibatkan variasi beban yang bersifat fluktuatif dan dinamis, sehingga berpotensi memicu terjadinya penyimpangan tegangan pada jaringan distribusi. Kondisi tersebut tidak hanya berpengaruh terhadap kinerja dan efisiensi peralatan listrik, tetapi juga berdampak pada keandalan sistem distribusi serta umur layanan peralatan yang digunakan oleh pelanggan.

2.10 Karakteristik Antar Beban Listrik Rumah Tangga

Untuk memahami respon beban listrik secara lebih komprehensif, perlu dilakukan perbandingan karakteristik antar jenis beban, yaitu resistif, induktif, dan

kapasitif. Perbedaan karakteristik ini memengaruhi cara masing-masing beban merespon fluktuasi tegangan.

Perbandingan Berdasarkan Hubungan Tegangan dan Arus

A. Beban Resistif

1. Tegangan dan arus sefasa (tidak ada pergeseran fasa).
2. Arus berubah langsung mengikuti tegangan.

B. Beban Induktif

1. Arus tertinggal dari tegangan (lagging).
2. Terjadi pergeseran fasa akibat medan magnet.

C. Beban Kapasitif

1. Arus mendahului tegangan (leading).
2. Terjadi pergeseran fasa akibat medan listrik.

Perbandingan Berdasarkan Respon terhadap Fluktuasi Tegangan

A. Beban Resistif

1. Respon cepat dan stabil.
2. Perubahan tegangan langsung memengaruhi daya.

B. Beban Induktif

1. Respon lebih lambat (ada delay).
2. Sensitif terhadap penurunan tegangan (mempengaruhi torsi motor).

C. Beban Kapasitif

1. Respon dipengaruhi kemampuan menyimpan energi.
2. Dapat menyebabkan tegangan menjadi tidak stabil jika berlebihan.

Perbandingan Berdasarkan Dampak pada Kinerja

A. Beban Resistif

1. Dampak relatif sederhana (perubahan panas/cahaya).

B. Beban Induktif

1. Dampak signifikan pada kinerja motor (putaran, torsi).
2. Dapat meningkatkan rugi-rugi daya.

C. Beban Kapasitif

1. Dapat memperbaiki atau memperburuk faktor daya.
2. Sensitif terhadap lonjakan tegangan.

Perbandingan Berdasarkan Contoh Beban Rumah Tangga

1. Resistif → setrika, pemanas air, lampu pijar
2. Induktif → kipas angin, kulkas, mesin cuci
3. Kapasitif → televisi, charger, perangkat elektronik

Beban listrik rumah tangga umumnya bersifat dinamis dan tidak konstan, karena pengoperasian peralatan listrik sangat bergantung pada aktivitas pengguna. Pola pemakaian yang berubah-ubah menyebabkan nilai arus yang mengalir dalam sistem turut berfluktuasi, sehingga berdampak langsung pada perubahan tegangan di titik beban. Kondisi ini menjadikan instalasi rumah tangga rentan terhadap fluktuasi tegangan, terutama pada jam beban puncak. Selain itu, beban rumah tangga memiliki karakteristik listrik yang bervariasi, baik dari sisi faktor daya, sifat linier maupun nonlinier, serta sensitivitas terhadap perubahan tegangan. Perbedaan karakteristik ini menyebabkan setiap jenis beban memberikan respon yang berbeda ketika terjadi fluktuasi tegangan.

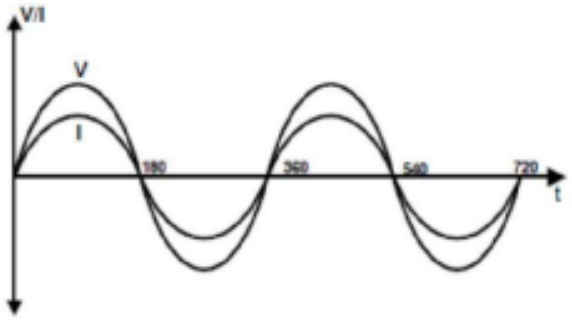
2.11 Jenis Beban Listrik Rumah Tangga

Ditinjau dari sifat kelistrikannya, beban listrik pada instalasi rumah tangga dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu beban resistif, induktif, dan kapasitif. Klasifikasi ini didasarkan pada karakteristik impedansi masing-masing beban terhadap sistem arus bolak-balik, khususnya terkait perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus. Variasi karakteristik tersebut menyebabkan setiap jenis beban menunjukkan respon kelistrikan yang berbeda, sehingga berpotensi memberikan dampak yang beragam terhadap mutu dan kestabilan daya listrik pada jaringan distribusi rumah tangga.

2.11.1 Beban Resistif

Beban resitif murni adalah beban yang tidak mempunyai perbedaan phasa antara arus dan tegangan atau dengan kata lain mempunyai $cos\varphi = 1$ [24] . Pada sistem instalasi listrik rumah tangga, beban ini umum ditemukan pada peralatan seperti setrika listrik, pemanas air, kompor listrik, serta lampu pijar, yang seluruhnya bekerja berdasarkan prinsip pemanasan akibat aliran arus listrik pada bahan resistif tanpa melibatkan komponen reaktif yang dominan. Secara karakteristik, beban resistif menunjukkan hubungan arus dan tegangan yang cenderung linier sesuai dengan hukum Ohm. Oleh karena itu, setiap perubahan pada besaran tegangan suplai akan secara langsung berpengaruh terhadap nilai arus yang

mengalir dan daya listrik yang diserap oleh beban. Peningkatan tegangan akan menyebabkan bertambahnya daya dan panas yang dihasilkan, sedangkan penurunan tegangan akan menurunkan daya keluaran peralatan. Karakteristik ini menjadikan beban resistif relatif lebih stabil terhadap variasi tegangan dibandingkan beban induktif, meskipun fluktuasi tegangan yang cukup besar atau berlangsung lama tetap dapat memengaruhi kinerja dan efisiensi peralatan

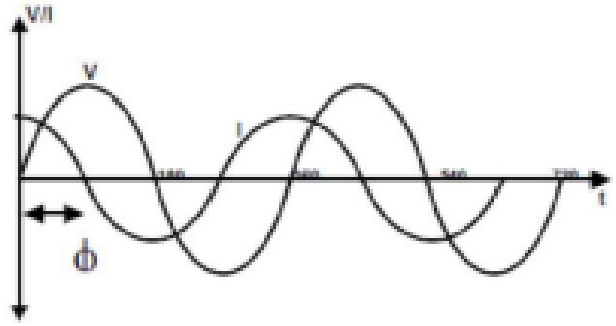


Gambar 2. 8 Gelombang Beban Resistif [25]

Pada sumber arus bolak-balik, jika beban yang digunakan berupa resistif murni, maka gelombang tegangan dan arus berada dalam fase yang sama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.

2.11.2 Beban Induktif

Beban induktif pada umumnya dicirikan oleh keberadaan elemen motor listrik atau lilitan kumparan yang banyak diaplikasikan pada peralatan rumah tangga, seperti pompa air, lemari pendingin, mesin cuci, dan sistem pendingin udara. Jenis beban ini membutuhkan arus awal yang relatif tinggi pada saat mulai beroperasi, terutama pada fase pengasutan motor, sehingga berpotensi menimbulkan penurunan tegangan sesaat pada jaringan listrik. Dalam kondisi terjadinya fluktuasi tegangan pada sisi suplai, beban induktif cenderung memperlihatkan penurunan kinerja yang lebih signifikan. Penurunan nilai tegangan dapat mengakibatkan berkurangnya torsi motor serta menurunnya efisiensi operasional peralatan. Apabila kondisi tersebut berlangsung dalam jangka waktu tertentu, maka dapat meningkatkan rugi-rugi daya, mempercepat degradasi komponen, serta menurunkan keandalan dan umur layanan peralatan listrik rumah tangga



Gambar 2. 9 Gelombang Beban Induktif [25]

Beban induktif dapat menyebabkan pergeseran titik nol antara tegangan dan arus. Jika bebannya induktif, titik nol arus terjadi sesaat setelah titik nol tegangan. Kondisi ini disebut arus tertinggal, seperti terlihat pada gambar 2.6.

2.12.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan jenis beban listrik yang memiliki kemampuan menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Komponen utama pada beban ini adalah kapasitor, yang banyak digunakan pada peralatan elektronik rumah tangga.



Gambar 2. 10 Gelombang Beban Kapasitif

2.12 Dasar Teori Simulasi MATLAB/Simulink

Analisis dilakukan di MATLAB/Simulink dengan menjalankan blok Simulink yang sesuai yang mewakili sumber [26]. Simulasi sistem adalah pendekatan yang sangat berguna dalam dunia teknik dan ilmu pengetahuan yang memungkinkan kita untuk membuat model matematis yang merepresentasikan sistem nyata atau konsep abstrak [27]. Metode ini memberikan kemampuan untuk mempelajari fenomena kompleks, seperti fluktuasi tegangan, distorsi harmonik, dan variasi daya beban, secara aman dan efisien, yang sulit dianalisis melalui pengukuran langsung di lapangan. Dalam konteks instalasi listrik rumah tangga, simulasi digunakan untuk menilai respon beban terhadap perubahan tegangan,

mengevaluasi kualitas daya, serta merancang strategi mitigasi terhadap gangguan listrik. Salah satu platform yang paling banyak digunakan untuk tujuan ini adalah MATLAB/Simulink.

MATLAB (Matrix Laboratory) merupakan lingkungan pemrograman tingkat tinggi yang mendukung perhitungan numerik, analisis data, dan pengembangan algoritma. MATLAB dilengkapi dengan berbagai fungsi matematika, statistik, dan grafik yang memudahkan analisis sistem tenaga listrik secara menyeluruh. Selain itu, MATLAB menyediakan toolbox khusus seperti SimPowerSystems dan Simscape Electrical, yang dirancang untuk memodelkan sistem tenaga listrik, mulai dari jaringan distribusi, sumber tegangan, hingga beban rumah tangga. Simulink, sebagai bagian dari MATLAB, menyediakan antarmuka berbasis blok diagram yang memungkinkan pemodelan sistem dinamis secara grafis. Melalui Simulink, komponen sistem listrik, termasuk sumber tegangan, transformator, saluran distribusi, beban listrik, dan peralatan proteksi, dapat direpresentasikan dengan blok-blok fungsional yang saling terhubung. Model ini kemudian dapat disimulasikan untuk menganalisis respons tegangan, arus, daya, serta parameter kualitas daya lainnya secara akurat.

Dalam pemodelan sistem listrik rumah tangga, Simulink memungkinkan integrasi berbagai tipe beban, antara lain:

1. Beban resistif, seperti lampu pijar atau setrika, di mana arus yang mengalir sebanding dengan tegangan.
2. Beban induktif, seperti motor pompa air, AC, dan kulkas, yang menyebabkan arus tertinggal terhadap tegangan.

Simulasi ini memungkinkan analisis respon transient dan steady-state dari sistem tenaga listrik. Respon transient menggambarkan perilaku sistem terhadap perubahan mendadak, misalnya saat peralatan berdaya besar dihidupkan, sementara kondisi steady-state menunjukkan keadaan sistem setelah mencapai keseimbangan operasional. Melalui simulasi, informasi tentang variasi tegangan, fluktuasi arus, harmonik, dan faktor daya dapat diperoleh, sehingga evaluasi kualitas daya dapat dilakukan secara menyeluruh dan terstruktur.

Beberapa persamaan dasar yang digunakan dalam simulasi sistem tenaga listrik meliputi: Daya aktif, Daya reaktif, Daya semu, MATLAB/Simulink juga

menyediakan tools visualisasi, seperti Scope, grafik, dan time waveform, yang memungkinkan pemantauan tegangan, arus, dan daya secara real-time. Hal ini mempermudah interpretasi fenomena kelistrikan, termasuk fluktuasi tegangan, flicker, under-voltage, over-voltage, dan distorsi harmonik, sehingga analisis menjadi lebih akurat dan informatif.

Beberapa keunggulan penggunaan MATLAB/Simulink dalam penelitian sistem tenaga listrik antara lain:

1. Fleksibilitas tinggi, memungkinkan pemodelan sistem linier maupun non-linear.
2. Visualisasi interaktif, memudahkan pemahaman aliran energi dan respon sistem.
3. Analisis dinamis, baik untuk studi transient maupun steady-state.
4. Integrasi dengan toolbox khusus, seperti SimPowerSystems, Simscape Electrical, dan Simscape Control, untuk simulasi sistem listrik kompleks.
5. Kemudahan modifikasi dan optimasi model, sehingga eksperimen virtual dapat dilakukan tanpa risiko kerusakan peralatan nyata.

Dalam penelitian terkait fluktuasi tegangan dan dampaknya pada beban rumah tangga, MATLAB/Simulink memungkinkan:

1. Pemodelan sistem distribusi rumah tangga secara menyeluruh.
2. Analisis respons berbagai jenis beban terhadap variasi tegangan.
3. Simulasi fenomena gangguan listrik, termasuk over-voltage dan under-voltage.
4. Evaluasi strategi mitigasi, seperti penggunaan stabilizer tegangan, filter harmonik, atau pengaturan beban.

Dengan demikian, pemahaman mengenai dasar teori MATLAB/Simulink menjadi landasan penting dalam penelitian kualitas daya listrik. Platform ini memungkinkan analisis sistem tenaga listrik yang realistis, menyeluruh, dan efisien, serta mendukung pengembangan strategi peningkatan kualitas daya, proteksi peralatan, dan efisiensi energi sebelum diterapkan pada sistem nyata.

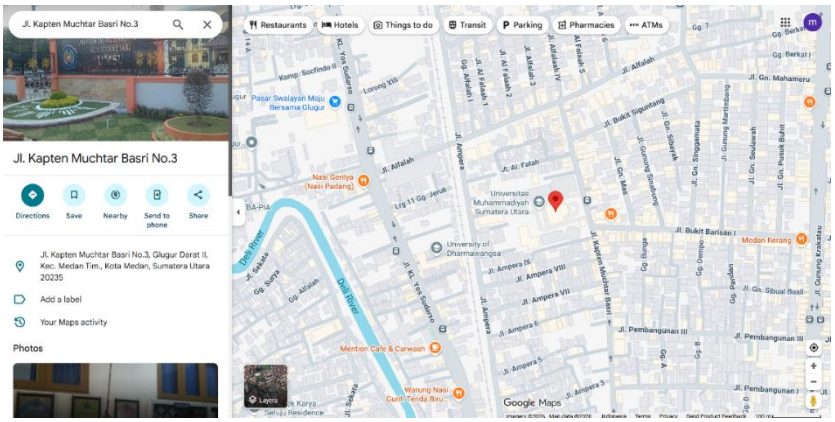
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi. Pendekatan kuantitatif dipilih karena analisis yang dilakukan didasarkan pada data numerik seperti tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, serta faktor daya yang diperoleh dari hasil simulasi. Data tersebut kemudian diolah menggunakan perhitungan matematis untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga. Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink sebagai media pemodelan sistem tenaga listrik. Melalui simulasi ini, kondisi fluktuasi tegangan seperti *undervoltage* dan *overvoltage* dapat diuji secara terkontrol tanpa harus melakukan pengujian langsung pada sistem kelistrikan yang sebenarnya. Model yang dirancang dalam penelitian ini meliputi sumber tegangan, impedansi saluran distribusi, serta beban resistif dan induktif.

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro, Univesitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Proses penelitian dilakukan menggunakan perangkat komputer dengan perangkat lunak MATLAB/Simulink sebagai media simulasi untuk menganalisis respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

No	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Studi Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 – Bab 3								
4	Seminar Proposal								
5	Analisa Data								
6	Seminar Hasil								
7	Sidang Akhir								

Tabel 3. 1 Tabel Waktu Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian *"*Analisis Respon dan Dampak Fluktuasi Tegangan Terhadap Kinerja Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis Simulasi MATLAB/Simulink*"*, alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

3.3 Alat

1. Laptop

Laptop digunakan sebagai perangkat utama dalam menjalankan proses pemodelan dan simulasi sistem tenaga listrik. Spesifikasi perangkat harus memadai agar proses komputasi berjalan lancar tanpa gangguan, terutama saat menjalankan simulasi dengan blok rangkaian yang kompleks. Spesifikasi yang disarankan meliputi prosesor minimal Intel Core i5 atau setara, RAM minimal 8 GB, serta kapasitas penyimpanan yang cukup untuk instalasi perangkat lunak dan penyimpanan data hasil simulasi. Kinerja perangkat yang baik akan mendukung kecepatan pemrosesan data serta kestabilan saat menjalankan MATLAB/Simulink..

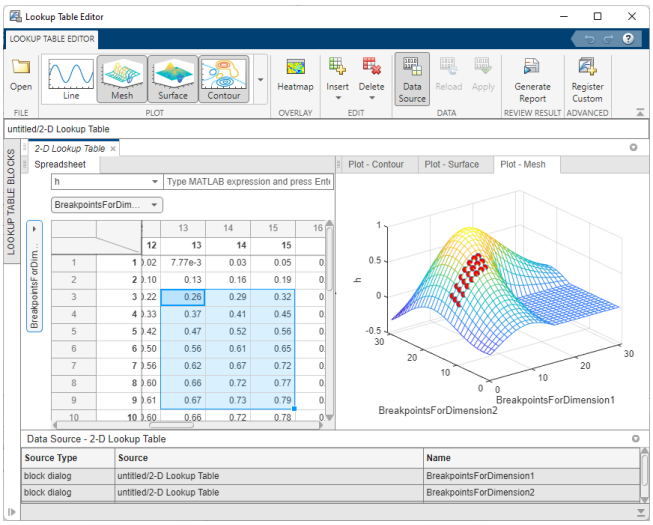


Gambar 3. 2 Gambar Laptop

2. Perangkat lunak MATLAB beserta Simulink Toolbox.

Dalam penelitian ini, simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink untuk menganalisis respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga. Perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB versi R2022a, yang memiliki kemampuan dalam pemodelan dan analisis sistem dinamis secara komprehensif.

Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan fitur Simulink sebagai media pemodelan berbasis diagram blok, sehingga memudahkan dalam merepresentasikan sistem tenaga listrik secara visual. Selain itu, digunakan juga Simscape Electrical yang menyediakan berbagai komponen kelistrikan seperti sumber tegangan, resistor, induktor, dan kapasitor, sehingga sesuai untuk memodelkan beban listrik dalam penelitian ini. Library pendukung lainnya adalah Simscape, yang berfungsi sebagai dasar dalam pemodelan sistem fisik dan memungkinkan integrasi antar komponen dalam simulasi. Penggunaan MATLAB/Simulink beserta toolbox yang tersedia bertujuan untuk mempermudah proses pemodelan dan analisis sistem secara akurat. Dengan demikian, hasil simulasi yang diperoleh diharapkan dapat merepresentasikan kondisi nyata pada sistem listrik rumah tangga, khususnya dalam menganalisis pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik.



Gambar 3. 3 Gambar Aplikasi Matlab/Simulink

3.4 Bahan

1. Data parameter sistem kelistrikan (tegangan normal, variasi fluktuasi tegangan).
2. Data parameter beban listrik rumah tangga (beban resistif, induktif)
3. Referensi jurnal, buku, dan standar kelistrikan yang mendukung penelitian Studi Literatur

3.5 Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan untuk menganalisis respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap beban listrik resistif dan induktif berbasis simulasi MATLAB/Simulink. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

   Tahap awal penelitian dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada sistem kelistrikan rumah tangga, khususnya terkait fluktuasi tegangan. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis respon beban serta dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban resistif (R) dan beban induktif (L). Identifikasi masalah ini bertujuan untuk menentukan ruang lingkup dan arah penelitian agar sesuai dengan tujuan yang diharapkan.
2. Studi LiteraturPada tahap ini dilakukan pengumpulan dan penelaahan berbagai referensi yang relevan dengan topik penelitian. Studi literatur meliputi jurnal

ilmiah, buku, dan sumber akademik lainnya yang membahas: Fluktuasi tegangan pada sistem distribusi Listrik, Karakteristik beban resistif, Pengaruh Karakteristik beban induktif, fluktuasi tegangan terhadap tegangan, arus, dan daya. Tahap ini bertujuan untuk memperkuat dasar teori, menentukan parameter penelitian, serta menjadi acuan dalam analisis hasil simulasi.

3. Pengumpulan Data

   Tahap pengumpulan data dilakukan dengan menentukan parameter-parameter listrik yang akan dianalisis dalam penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi: Tegangan (V), Arus (I), Daya (P) Data ini digunakan sebagai input dalam proses pengolahan dan simulasi sistem kelistrikan.

4. Pengolahan Data

   Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah untuk mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan dalam simulasi. Pada tahap ini dilakukan perhitungan: Nilai resistansi (R), Nilai induktansi (L) Hasil pengolahan data ini digunakan untuk membangun model beban resistif dan induktif pada simulasi MATLAB/Simulink.

5. Simulasi Menggunakan MATLAB/Simulink

   Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi sistem menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Simulasi dilakukan dengan beberapa kondisi fluktuasi tegangan untuk: Menguji respon beban resistif dan induktif, Menganalisis perubahan tegangan, arus, dan daya, Mengamati kondisi saat terjadi fluktuasi tegangan Simulasi ini bertujuan untuk memperoleh gambaran perilaku sistem secara dinamis terhadap perubahan tegangan.

6. Analisis Data

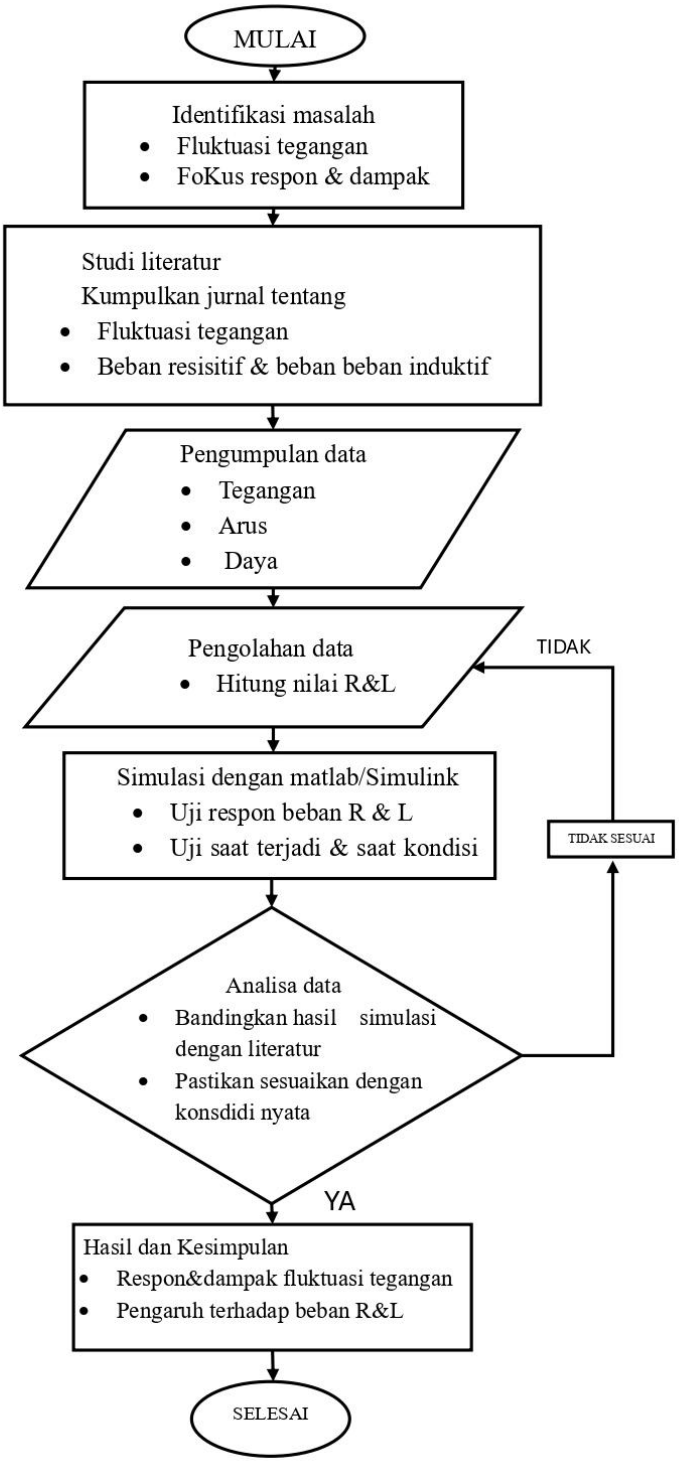
   Hasil simulasi kemudian dianalisis dengan cara: Membandingkan hasil simulasi dengan teori dan literatur yang telah dikaji, Mengevaluasi kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi nyata sistem kelistrikan rumah tangga.

7. Hasil dan Kesimpulan

   Tahap akhir penelitian adalah penyusunan hasil dan penarikan kesimpulan berdasarkan analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan yang dihasilkan meliputi: Respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap system.

3.4 Diagram Alir

Proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.3



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Simulasi

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan MATLAB/Simulink sebagai perangkat simulasi untuk menganalisis respon serta dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga. Simulasi dilakukan guna mengetahui pengaruh perubahan nilai tegangan terhadap karakteristik kerja beberapa jenis beban listrik yang sering digunakan pada lingkungan rumah tangga. Dalam sistem tenaga listrik, kestabilan tegangan menjadi salah satu aspek penting yang memengaruhi kualitas daya listrik. Tegangan yang mengalami penurunan maupun kenaikan melebihi batas normal dapat menimbulkan gangguan pada peralatan listrik, seperti menurunnya performa kerja, meningkatnya arus listrik, hingga menyebabkan kerusakan pada komponen peralatan. Oleh sebab itu, simulasi dilakukan untuk mengamati secara lebih rinci pengaruh fluktuasi tegangan terhadap parameter kelistrikan pada beban.

Model simulasi dibuat menyerupai sistem kelistrikan rumah tangga sederhana yang terdiri dari sumber tegangan AC, jaringan distribusi, serta beberapa jenis beban listrik. Beban yang digunakan pada penelitian ini meliputi beban resistif, induktif, dan kapasitif. Beban resistif diwakili oleh lampu pijar, beban induktif direpresentasikan menggunakan kipas angin atau motor listrik sederhana, sedangkan beban kapasitif menggunakan kapasitor yang berfungsi sebagai kompensasi daya reaktif. Proses simulasi dilakukan dengan memberikan beberapa variasi tegangan untuk mengetahui respon masing-masing beban terhadap perubahan tegangan. Sistem menggunakan tegangan normal sebesar 220 volt dengan frekuensi 50 Hz yang sesuai dengan standar tegangan rumah tangga di Indonesia. Variasi tegangan yang diterapkan meliputi kondisi tegangan rendah, normal, dan tinggi untuk melihat pengaruh fluktuasi tegangan terhadap parameter kelistrikan pada beban listrik rumah tangga.

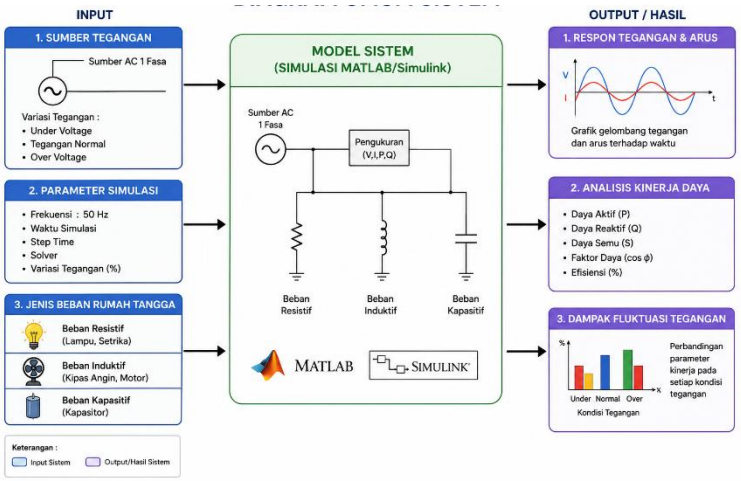
4.1.1 Deskripsi Sistem yang Disimulasikan

Sistem yang disimulasikan pada penelitian ini merepresentasikan jaringan distribusi tegangan rendah satu fasa dengan tegangan normal 220 Volt dan frekuensi 50 Hz, sebagaimana yang umum digunakan pada jaringan listrik rumah

tangga di Indonesia. Model sistem dibangun menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink dengan memanfaatkan pustaka *Simscape Electrical* (Specialized Power Systems) untuk merepresentasikan komponen-komponen utama sistem, yang terdiri dari:

1. Sumber tegangan AC yang dapat diatur untuk menghasilkan kondisi tegangan normal maupun fluktuasi tegangan sesuai skenario yang ditentukan;
2. Saluran distribusi yang menghubungkan sumber tegangan dengan beban; serta
3. Beban listrik rumah tangga yang mewakili karakteristik beban resistif, induktif, dan elektronik.

Pada model ini, fluktuasi tegangan diberikan langsung pada sisi sumber untuk mensimulasikan kondisi yang terjadi pada titik sambungan pelanggan (*point of common coupling*), sehingga respon setiap jenis beban terhadap perubahan tegangan dapat diamati secara langsung melalui blok-blok pengukuran yang dipasang pada sistem. Gambar 4.1 menunjukkan diagram blok umum dari sistem yang disimulasikan dalam penelitian ini.



Gambr 4. 1 diagram blok umum

4.1.2 Skenario Fluktuasi Tegangan yang Diuji

Penentuan skenario variasi tegangan pada penelitian ini mengacu pada Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) No. 1 Tahun 1995 tentang Tegangan-Tegangan Standar, khususnya ketentuan mengenai variasi tegangan pelayanan.

Pada standar tersebut dinyatakan bahwa variasi tegangan pelayanan yang diizinkan adalah maksimum +5% dan minimum -10% terhadap tegangan normal. Ketentuan ini digunakan sebagai acuan dalam menjaga kualitas tegangan yang diterima pelanggan pada kondisi operasi normal[28]. Berdasarkan ketentuan tersebut, penelitian ini menggunakan tegangan normal sebesar 220 V sebagai kondisi normal. Dari nilai tegangan normal tersebut diperoleh batas variasi tegangan pelayanan, yaitu 198 V sebagai kondisi undervoltage (-10%) dan 231 V sebagai kondisi overvoltage (+5%). Selain kedua batas tersebut, penelitian ini juga menggunakan 209 V (-5%) sebagai kondisi penurunan tegangan antara serta 242 V (+10%) sebagai skenario overvoltage tambahan untuk menganalisis respons beban listrik rumah tangga pada kondisi tegangan yang melebihi batas pelayanan normal. Dengan demikian, skenario pengujian pada penelitian ini terdiri atas lima kondisi tegangan, yaitu 198 V, 209 V, 220 V, 231 V, dan 242 V, Terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 variasi tegangan

No	Kondisi Tegangan	Nilai Tegangan (V)	Keterangan
1	Undervoltage 1	198	-10% dari normal
2	Undervoltage	209	-5% dari normal
4	Normal	220	Tegangan normal
5	Overvoltage	231	+5% dari normal
6	Overvoltage 1	242	+10% dari normal

Setiap perubahan nilai tegangan pada simulasi akan diamati pengaruhnya terhadap parameter kelistrikan seperti arus, daya, dan respon kerja dari masing-masing beban listrik. Proses pengukuran dilakukan menggunakan blok pengukuran yang tersedia pada MATLAB/Simulink sehingga hasil simulasi dapat ditampilkan dalam bentuk grafik maupun data hasil pengamatan untuk mempermudah proses analisis. Pada kondisi tegangan di bawah nilai normal, beberapa beban listrik diperkirakan mengalami penurunan kinerja karena daya yang diterima beban menjadi lebih kecil. Sebagai contoh, lampu akan menghasilkan pencahayaan yang

lebih redup dan motor listrik mengalami penurunan performa kerja. Sementara itu, pada kondisi tegangan di atas nilai normal, nilai arus dan daya listrik cenderung meningkat sehingga suhu kerja pada peralatan listrik menjadi lebih tinggi. Jika kondisi tersebut terjadi secara terus-menerus, maka dapat memengaruhi efisiensi serta mempercepat penurunan umur pakai peralatan listrik rumah tangga. Melalui proses simulasi ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai pengaruh fluktuasi tegangan terhadap karakteristik kerja beban listrik rumah tangga. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai pentingnya menjaga kestabilan tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik agar peralatan listrik dapat beroperasi secara optimal dan aman.

4.2 Penentuan Parameter Simulasi

Parameter simulasi merupakan nilai-nilai yang digunakan sebagai dasar dalam proses perancangan dan pengujian sistem menggunakan MATLAB/Simulink. Penentuan parameter dilakukan agar kondisi simulasi dapat mendekati sistem kelistrikan rumah tangga sebenarnya sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat menggambarkan pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga. Pada penelitian ini digunakan sumber tegangan AC satu fasa dengan nilai tegangan normal sebesar 220 volt dan frekuensi 50 Hz. Nilai tersebut disesuaikan dengan standar tegangan listrik rumah tangga yang digunakan di Indonesia. Proses simulasi dilakukan dengan memberikan beberapa variasi tegangan untuk mengetahui perubahan karakteristik kerja beban akibat terjadinya fluktuasi tegangan. Jenis beban yang digunakan pada simulasi terdiri dari beban resistif, induktif, dan kapasitif. Penggunaan ketiga jenis beban tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan respon masing-masing beban terhadap perubahan tegangan sumber. Beban resistif digunakan untuk merepresentasikan peralatan listrik yang mengubah energi listrik menjadi cahaya atau panas, beban induktif digunakan untuk menggambarkan peralatan yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, sedangkan beban kapasitif digunakan untuk melihat pengaruh kapasitor pada sistem kelistrikan.

Variasi tegangan yang diterapkan pada simulasi meliputi kondisi tegangan rendah, normal, dan tegangan tinggi. Pada kondisi undervoltage digunakan tegangan sebesar 198 volt dan 209 volt, sedangkan kondisi normal menggunakan tegangan

220 volt. Untuk kondisi overvoltage digunakan tegangan sebesar 231 volt dan 242 volt. Variasi tegangan tersebut digunakan untuk menganalisis perubahan arus, daya, serta karakteristik kerja beban akibat perubahan nilai tegangan sumber.

Selain parameter tegangan, pengamatan juga dilakukan terhadap beberapa parameter kelistrikan lainnya seperti arus listrik, daya aktif, dan respon kerja beban selama simulasi berlangsung. Data hasil simulasi diperoleh melalui blok pengukuran dan scope pada Simulink sehingga perubahan parameter dapat diamati dalam bentuk grafik maupun data numerik.

Parameter simulasi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Parameter Simulasi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	keterangan
1	Tengangan normal	V	220	Volt	Tegangan standar
2	Tegangan minimum	Vmin	198,209	Volt	Kondisi undervoltage
3	Tegangan maksimum	Vmax	231,242	Volt	Kondisi overvoltage
4	Frekuensi sistem	f	50	Hertz	Frekuensi Listrik
5	Jenis beban	R/L	Induktif dan resisitif	-	Beban rumah tangga
6	Daya beban	P	Sesuai simulasi	Watt	Daya peralatan
7	Arus listrik	I	Sesuai simulasi	Ampere	Arus peralatan
8	Faktor daya	Cos Phi	0,8	-	Indicator kinerja beban
9	Waktu simulasi	t	1 – 10	Detik	Durasi pengamatan
10	Model fluktuasi tegangan	-	Step / bertahap	-	Variasi tegangan input
11	Output pengamatan	-	V.I.P	-	Hasil simulasi

Jenis beban yang digunakan pada simulasi terdiri dari beban resistif, induktif, dan kapasitif. Penggunaan ketiga jenis beban tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan respon masing-masing beban terhadap perubahan tegangan sumber.

Beban resistif digunakan untuk merepresentasikan peralatan listrik yang mengubah energi listrik menjadi cahaya atau panas, seperti lampu pijar. Beban induktif digunakan untuk menggambarkan peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, seperti kipas angin atau motor listrik sederhana.
Penetuan jumlah beban dalam simulasi terlihat pada tabel 4.3

4. 3 Tabel Penetuan jumlah beban dalam simulasi

No	Jenis Beban	Simbol Beban	Jumlah	Daya Total	Keterangan
1	Resistiif	R	2	360	Lampu pijar, setrika listrik
2	Induktif	L	2	250	Kipas angin, pompa air.
3	Kapasitif	C	1	10	Lampu Led

Masing-masing beban yang digunakan pada simulasi ditentukan berdasarkan karakteristik beban listrik rumah tangga yang umum digunakan. Penentuan spesifikasi beban bertujuan agar model simulasi pada MATLAB/Simulink dapat mendekati kondisi sistem kelistrikan rumah tangga sebenarnya. Spesifikasi beban meliputi jenis beban, jumlah beban, daya normal, serta nilai tegangan kerja yang digunakan selama proses simulasi. Data spesifikasi tersebut digunakan sebagai parameter utama dalam menganalisis pengaruh fluktuasi tegangan terhadap perubahan arus, daya, dan karakteristik kerja masing-masing beban listrik.
Penentuan spesifikasi beban listrik rumah tanggga terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Spesifikasi beban

No	Peralatan	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Faktor Daya	Karakteristik	keterangan
1	Lampu pijar	220	60	0,27	50	1,0	Sefasa	Penerangan
2	Setrika	220	300	1,36	50	1,0	Sefasa	Pemanas
3	Kipas Angin	220	50	0,43	50	0,8	Laggging	Motor Kecil
4	Pompa Air	220	200	0,75	50	0,75	Lagging	Motor
5	Lampu led	220	10	0.05	50	0,90	Leading	Beban Kecil

4.3 Karakteristik Fluktuasi Tegangan pada Sistem Kelistrikan Rumah Tangga

Fluktuasi tegangan merupakan kondisi ketika nilai tegangan pada sistem tenaga listrik berubah dari nilai normalnya dalam selang waktu tertentu. Perubahan tegangan dapat berupa penurunan tegangan (*undervoltage*) maupun kenaikan tegangan (*overvoltage*). Pada penelitian ini, tegangan normal sistem ditetapkan sebesar 220 V dengan frekuensi 50 Hz. Untuk mengetahui pengaruh fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga, dilakukan simulasi pada lima kondisi tegangan, yaitu 198 V, 209 V, 220 V, 231 V, dan 242 V**.**

Besarnya perubahan tegangan terhadap kondisi normal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$^{0}/_{0}\,\Delta v = \frac{V_{uji} - V_{normal}}{V_{normal}} x100\%$$

dengan:

V_{uji}= tegangan yang disimulasikan (V)

V_{normal}= tegangan normal sistem (220 V)

untuk kondisi tegangan 198 V diperoleh

$$\%\Delta V = \frac{198 - 220}{220} \times 100\% = -10\%$$

Untuk kondisi 209v di peroleh

$$\%\Delta V = \frac{209 - 220}{220} \times 100\% = -5\%$$

Untuk kondisi 220v di peroleh

$$\%\Delta V = \frac{220 - 220}{220} \times 100\% = 0\%$$

Untuk kondisi 231v di peroleh

$$\%\Delta V = \frac{231 - 220}{220} \times 100\% = 5\%$$

Sedangkan untuk kondisi 242 V diperoleh:

$$\%\Delta V = \frac{242 - 220}{220} \times 100\% = 10\%$$

Kondisi Undervoltage

Pada kondisi 198 V dan 209 V, nilai tegangan berada di bawah tegangan normal sehingga amplitudo gelombang menjadi lebih kecil dibandingkan kondisi normal. Tegangan puncak turun dari 311,13 V pada kondisi normal menjadi 280,01 V pada tegangan 198 V, dan 295,57 V pada tegangan 209 V. Penurunan amplitudo tersebut menunjukkan bahwa energi listrik yang disalurkan ke beban juga berkurang. Akibatnya, beban menerima suplai tegangan yang lebih rendah sehingga daya yang diserap cenderung menurun. Pada beban penerangan, kondisi ini dapat menyebabkan cahaya menjadi lebih redup, sedangkan pada beban motor dapat mengurangi kemampuan motor dalam menghasilkan torsi.

Kondisi Tegangan Normal

Pada kondisi normal (220 V), sistem bekerja sesuai dengan tegangan normal yang digunakan pada instalasi listrik rumah tangga. Nilai tegangan puncaknya sebesar 311,13 V dengan frekuensi tetap 50 Hz. Kondisi ini dijadikan sebagai acuan dalam penelitian karena seluruh beban dirancang untuk bekerja secara optimal pada tegangan tersebut.

Kondisi Overvoltage

Pada kondisi 231 V dan 242 V, tegangan RMS berada di atas nilai normal sehingga amplitudo gelombang meningkat menjadi 326,68 V dan 342,24 V. Walaupun amplitudo bertambah, bentuk gelombang tetap sinusoidal dan frekuensi tidak

mengalami perubahan. Kenaikan amplitudo menunjukkan bahwa energi listrik yang diterima beban menjadi lebih besar dibandingkan kondisi normal. Pada beberapa jenis beban, kondisi ini dapat meningkatkan daya yang diserap dan menghasilkan kinerja yang lebih tinggi. Namun, jika overvoltage terjadi dalam waktu yang lama, suhu kerja komponen listrik juga dapat meningkat sehingga berpotensi mempercepat penurunan umur peralatan.

Analisis Karakteristik Fluktuasi Tegangan

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa karakteristik fluktuasi tegangan pada penelitian ini ditandai oleh perubahan nilai tegangan RMS dan tegangan puncak, sedangkan frekuensi sistem tetap sebesar 50 Hz dan bentuk gelombang tetap sinusoidal. Dengan demikian, fluktuasi yang dianalisis pada penelitian ini merupakan perubahan besar tegangan tanpa disertai perubahan frekuensi maupun distorsi harmonisa. Karakteristik inilah yang kemudian digunakan sebagai dasar untuk menganalisis respon setiap beban listrik rumah tangga pada kondisi undervoltage, tegangan normal, dan overvoltage pada subbab selanjutnya.

4.4 Simulasi Beban Berbagai Kondisi Tegangan

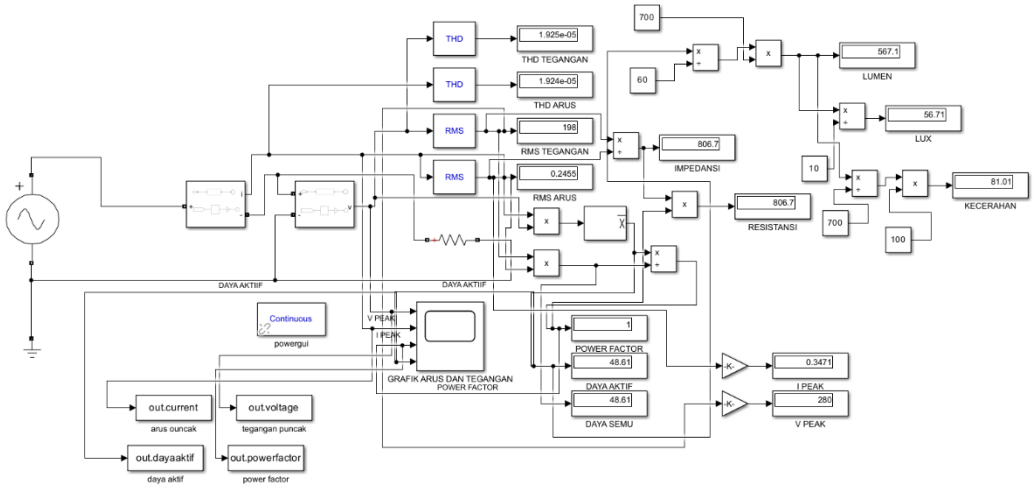
Pada penelitian ini dilakukan simulasi berbagai beban listrik rumah tangga menggunakan MATLAB/Simulink untuk menganalisis respon dan dampak fluktuasi tegangan terhadap kinerja beban. Simulasi dilakukan pada lima kondisi tegangan, yaitu 198 V, 209 V, 220 V (normal), 231 V, dan 242 V, yang mewakili kondisi undervoltage, normal, dan overvoltage. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan RMS, arus RMS, tegangan puncak, arus puncak, daya aktif, daya semu, daya reaktif, faktor daya, impedansi, sudut fasa, serta THD tegangan dan arus. Hasil simulasi kemudian dibandingkan pada setiap kondisi tegangan untuk mengetahui perubahan karakteristik listrik dan dampaknya terhadap kinerja masing-masing beban.

4.3.1 Lampu Pijar

Lampu pijar merupakan beban resistif dengan daya normal 60 W. Pada penelitian ini, lampu pijar disimulasikan pada kondisi normal (220V), undervoltage (198v,209v) dan overvoltage (231v dan 241v) untuk menganalisis pengaruh penurunan tegangan terhadap karakteristik listrik beban. Kondisi tersebut

menyebabkan arus dan daya yang diserap lampu pijar menurun dibandingkan dengan kondisi tegangan normal.

4.3.1.1 Kondisi undervoltage 198 V



Gambr 4. 2 Rangkaian Lampu Pijar 60W undervoltage -10%

Gambar 4.2 menunjukkan rangkaian simulasi lampu pijar 60 W pada kondisi tegangan undervoltage sebesar 198 V. Dari hasil pengukuran diperoleh tegangan RMS sebesar 198 V, arus RMS sebesar 0,2454 A, impedansi sebesar 806,7 Ω, dan resistansi sebesar 806,7 Ω, sehingga menunjukkan bahwa lampu merupakan beban resistif murni. Nilai faktor daya (Power Factor) = 1, sehingga daya aktif dan daya semu sama, yaitu 48,59 W. Selain itu, diperoleh tegangan puncak (Vpeak) sebesar 280 V dan arus puncak (Ipeak) sebesar 0,3471 A. Nilai THD tegangan dan arus yang sangat kecil ($\approx 1{,}49 \times 10^{-8}$) menunjukkan bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan hampir sinusoidal sempurna tanpa distorsi harmonisa. Dan Perhitungan parameter pencahayaan pada penelitian ini menggunakan beberapa konstanta berdasarkan karakteristik lampu pijar 60 W. Nilai 60 menunjukkan daya normal lampu, sedangkan nilai 700 merupakan fluks cahaya normal (lumen) yang dihasilkan lampu pada kondisi tegangan normal. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh efikasi cahaya sekitar 11,67 lumen/W, yang masih sesuai dengan karakteristik lampu pijar. Selanjutnya, nilai 70 digunakan sebagai acuan tingkat iluminasi (lux) pada bidang penerangan seluas 10 m², sehingga pada kondisi normal diperoleh iluminasi sebesar 70 lux. Adapun nilai 100 digunakan sebagai acuan persentase kecerahan maksimum. Berdasarkan hasil simulasi pada kondisi pengujian, diperoleh fluks cahaya sebesar 566,9 lumen, iluminasi sebesar 56,69 lux,

dan tingkat kecerahan sebesar 80,98%, yang menunjukkan adanya penurunan intensitas cahaya akibat berkurangnya daya yang diterima lampu.

Pada rangkaian simulasi digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter perhitungan. Nilai 60 menunjukkan daya normal lampu pijar sebesar 60 W yang digunakan sebagai acuan dalam simulasi. Nilai 700 merupakan fluks cahaya (lumen) normal lampu 60 W yang dijadikan referensi untuk menghitung jumlah lumen yang dihasilkan. Selanjutnya, nilai 10 menyatakan luas ruangan sebesar 10 m² yang digunakan dalam perhitungan intensitas pencahayaan (lux). Berdasarkan hubungan antara lumen dan luas area, nilai lux diperoleh dengan membagi fluks cahaya terhadap luas ruangan sehingga menunjukkan tingkat pencahayaan yang diterima pada setiap meter persegi. Selain itu, nilai 700 kembali digunakan sebagai nilai referensi untuk menghitung persentase kecerahan lampu terhadap kondisi normal, sedangkan nilai 100 berfungsi sebagai konstanta untuk mengubah hasil perbandingan tersebut ke dalam bentuk persentase (%).

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Rms

Rumus:

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 280,01 / 1,4142

Vrms = 198 V

2. Menghitung Tegangan puncak

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 198 × 1,4142

Vpeak = 280,01 Volt

3. Menghitung Arus RMS (Irms)

Irms = P / (V × PF)

Irms = 48,59 / (198 × 1)

Irms = 48,59 / 198

Irms = 0,2454 Ampere

4. Menghitung Arus Puncak (Ipeak)

Rumus:

Ipeak = Irms × √

Ipeak = 0,2454 × 1,4142

Ipeak = 0,3471 Ampere

5. Menghitung Impedansi (Z)

Z = Vrms / Irms

Z = 198 / 0,2454

Z = 806,7 Ohm

6. Menghitung Resistansi (R)

R = Z × PF

R = 806,84 × 1

R = 806,84 Ω

R = 806,7 Ω

7. Menghitung Daya Semu (S)

S = V × I

S = 198 × 0,2454

S = 48,59 VA

8. Menghitung Faktor Daya (PF)

PF = P / S

PF = 48,59 / 48,59

PF = 1

9. Menghitung Daya Aktif (P)

P = V × I

P = 198 × 0,2454

P = 48,59 Watt

10. Menghitung THD

Berdasarkan hasil simulasi MATLAB/Simulink diperoleh:

THD Tegangan = $1{,}49 \times 10^{-8}$ %

THD Arus = $1{,}49 \times 10^{-8}$ %

Nilai THD yang sangat kecil menunjukkan bahwa gelombang tegangan dan arus hampir sinusoidal sempurna.

11. Menghitung Lumen

Lumen = 700 × (V / 220)^3,4

Lumen = 700 × (198 / 220)^3,4

Lumen = 700 × (0,9)^3,4

Lumen = 700 × 0,6989

Lumen = 489,2 lumen

12. Menghitung Intensitas Cahaya (Lux)

Lux = Lumen / Luas

Dengan asumsi luas bidang penerangan = 10 m².

Lux = 489,2 / 10

Lux = 48,92 lux

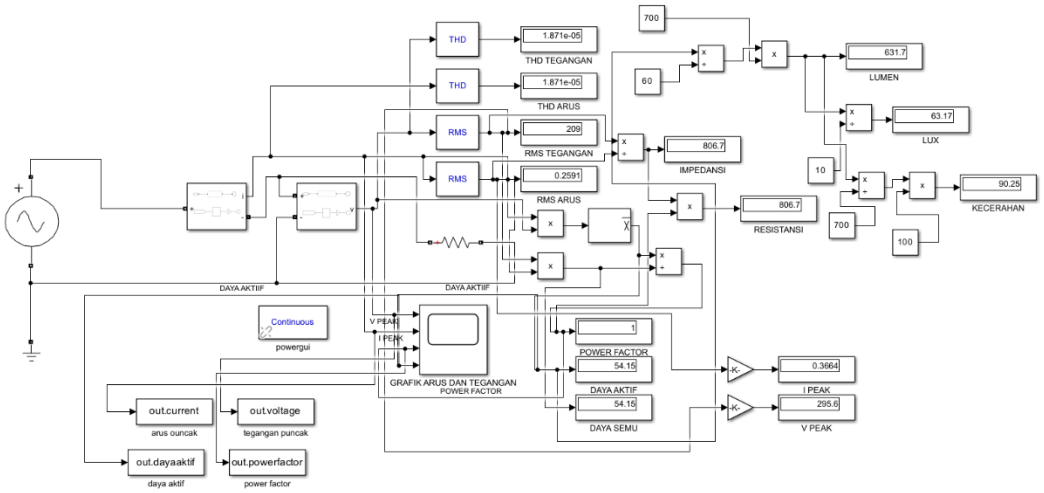
13. Menghitung Persentase Kecerahan

Kecerahan = (Lumen / 700) × 100%

Kecerahan = (489,2 / 700) × 100%

Kecerahan = 69,88%

4.3.1.2 Kondisi undervoltage 209V



Gambr 4. 3 Rangkaian Lampu Pijar 60W undervoltage -5%

Gambar 4. 3 menunjukkan model simulasi lampu pijar 60 W pada kondisi tegangan 209 V menggunakan MATLAB/Simulink. Rangkaian terdiri dari sumber tegangan AC, blok pengukuran tegangan dan arus, beban lampu pijar, serta blok perhitungan parameter listrik seperti RMS, THD, daya, faktor daya, impedansi, resistansi, dan tingkat pencahayaan (lumen, lux, dan kecerahan). Hasil simulasi menunjukkan tegangan RMS sebesar 209 V, arus RMS 0,259 A, daya aktif 54,12 W, faktor daya 1, dan kecerahan 90,2%.

Pada rangkaian simulasi digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter perhitungan. Nilai 60 menunjukkan daya normal lampu pijar sebesar 60

W yang digunakan sebagai acuan dalam simulasi. Nilai 700 merupakan fluks cahaya (lumen) normal lampu 60 W yang dijadikan referensi untuk menghitung jumlah lumen yang dihasilkan. Selanjutnya, nilai 10 menyatakan luas ruangan sebesar 10 m^2 yang digunakan dalam perhitungan intensitas pencahayaan (lux). Berdasarkan hubungan antara lumen dan luas area, nilai lux diperoleh dengan membagi fluks cahaya terhadap luas ruangan sehingga menunjukkan tingkat pencahayaan yang diterima pada setiap meter persegi. Selain itu, nilai 700 kembali digunakan sebagai nilai referensi untuk menghitung persentase kecerahan lampu terhadap kondisi normal, sedangkan nilai 100 berfungsi sebagai konstanta untuk mengubah hasil perbandingan tersebut ke dalam bentuk persentase (%). Dengan penggunaan parameter-parameter tersebut, Simulink dapat menghitung secara otomatis nilai lumen, lux, dan tingkat kecerahan sesuai dengan kondisi tegangan yang disimulasikan.

Perhitungan

1. Menghitung vrms

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 295,57 / 1,4142

Vrms = 209 V

2. Menghitung Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 209 × 1,4142

Vpeak = 295,57 Volt

3. Menghitung Daya Aktif (P)

P = V × I

P = 209 × 0,259 × 1

P = 54,13 Watt

4. Menghitung Arus RMS (Irms)

Irms = P / (V × PF)

Irms = 54,13 / (209 × 1)

Irms = 54,13 / 209

Irms = 0,259 Ampere

5. Menghitung Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 0,259 × 1,4142

Ipeak = 0,3663 Ampere

6. Menghitung Impedansi (Z)

Z = Vrms / Irms

Z = 209 / 0,259

Z = 806,95 Ohm

7. Menghitung Resistansi (R)

R = Z × PF

R = 806,84 × 1

R = 806,84 Ω

R = 806,7 Ω

8. Menghitung Daya Semu (S)

S = V × I

S = 209 × 0,259

S = 54,13 VA

9. Menghitung Faktor Daya (PF)

PF = P / S

PF = 54,13 / 54,13

PF = 1

10. Menghitung THD

THD Tegangan = $1,49 \times 10^{-8}$ %

THD Arus = $1,49 \times 10^{-8}$ %

11. Menghitung Lumen

Lumen = 700 × (V / 220)^3,4

Lumen = 700 × (209 / 220)^3,4

Lumen = 700 × (0,95)^3,4

Lumen = 700 × 0,902

Lumen = 631,4 lumen

12. Menghitung Intensitas Cahaya (Lux)

Lux = Lumen / Luas

Dengan asumsi luas bidang penerangan = 10 m².

Lux = 631,4 / 10

Lux = 63,14 lux

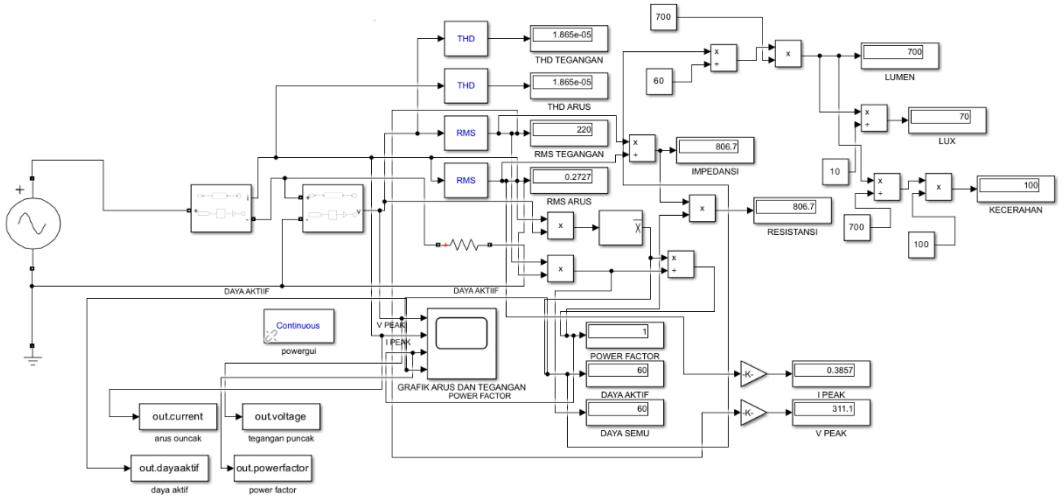
13. Menghitung Persentase Kecerahan

Kecerahan = (Lumen / 700) × 100%

Kecerahan = (631,4 / 700) × 100%

Kecerahan = 90,2%

4.3.1.3 Kondisi normal 220V



Gambr 4. 4 Rangkaian Lampu Pijar 60w

Pada gambar 4.3 dan menunjukkan hasil simulasi pada kondisi tegangan normal yang memperlihatkan gelombang tegangan berbentuk sinusoidal sempurna dengan amplitudo puncak sebesar ±311 V dan frekuensi 50 Hz. Gelombang arus yang dihasilkan juga berbentuk sinusoidal dengan amplitudo puncak sebesar ±0,38 A. Karena lampu pijar bersifat resistif murni (cos φ = 1,0), gelombang arus sefasa dengan gelombang tegangan tanpa adanya pergeseran fasa.

Perhitungan

1. Tegangan RMS (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 311,13 / 1,4142

Vrms = 220 V

2. Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 220 × 1,4142

Vpeak = 311,13 V

3. Daya aktif (S)

P = V × I × PF

P = 220 × 0,2727

P = 60 VA

4. Arus RMS (Irms)

Irms = P / (V × PF)

Irms = 60 / (220 × 1)

Irms = 60 / 220

Irms = 0,2727 A

5. Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 0,2727 × 1,4142

Ipeak = 0,3857 A

6. Impedansi (Z)

Z = V / I

Z = 220 / 0,2727

Z = 806,7 Ω

7. Resistansi (R)

R = Z × PF

R = 806,7 × 1

R = 806,7 Ω

8. Daya Semu (S)

S = V × I

S = 220 × 0,2727

S = 60 VA

9. Power factor dapat dihitung sebagai berikut:

PF = P / S

PF = 60 / 60

PF = 1.0

10. Perhitungan Fluks Cahaya (Lumen)

$$\Phi = \Phi_{nom} \left(\frac{V}{v_{nom}}\right)^{3,4}$$

$$\Phi = 700(\frac{220}{220})^{3,4}$$

$$\Phi = 700(1)^{3,4}$$

$$\Phi = 700$$

11. Perhitungan Intensitas Penerangan (Lux)

$$\mathrm{E} = \frac{\Phi}{\mathrm{A}}$$

$$\mathrm{E} = \frac{700}{10}$$

$$E = 70LUX$$

12. Perhitungan Persentase Kecerahan Lampu

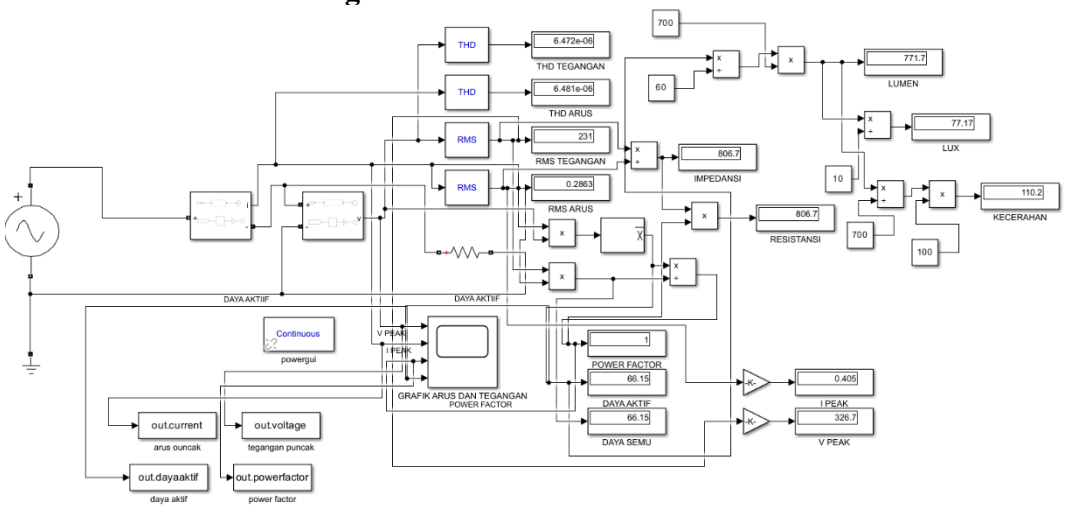
$$\mathrm{K} = \frac{\Phi}{\Phi_{nom}} \times 100$$

$$\mathrm{K} = \frac{700}{700} \times 100$$

$$K = 1 \times 100$$

$$K = 100$$

4.3.1.4 Kondisi overvoltage 231V



Gambr 4. 5 Rangkaian Lampu Pijar 60W undervoltage -5%

Gambar 4.5 menampilkan model simulasi Simulink berupa rangkaian pengukuran listrik satu fasa yang terhubung ke beban resistif. Model ini mengukur parameter kelistrikan seperti RMS tegangan (231 V), RMS arus (0,2863 A), THD tegangan dan arus (mendekati nol, menandakan sinyal sinusoidal murni), impedansi/resistansi (806,7 Ω), daya aktif dan semu (66,15 W/VA), serta faktor daya (1, karena beban resistif murni). Selain itu, model juga menghitung parameter

fotometri berupa Lumen (826,3), Lux (82,63), dan Kecerahan (118) yang diturunkan dari nilai tegangan menggunakan rumus eksponensial — menunjukkan bahwa simulasi ini digunakan untuk mengamati pengaruh tegangan listrik terhadap output cahaya lampu.

Pada rangkaian simulasi digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter perhitungan. Nilai 60 menunjukkan daya normal lampu pijar sebesar 60 W yang digunakan sebagai acuan dalam simulasi. Nilai 700 merupakan fluks cahaya (lumen) normal lampu 60 W yang dijadikan referensi untuk menghitung jumlah lumen yang dihasilkan. Selanjutnya, nilai 10 menyatakan luas ruangan sebesar 10 m² yang digunakan dalam perhitungan intensitas pencahayaan (lux). Berdasarkan hubungan antara lumen dan luas area, nilai lux diperoleh dengan membagi fluks cahaya terhadap luas ruangan sehingga menunjukkan tingkat pencahayaan yang diterima pada setiap meter persegi. Selain itu, nilai 700 kembali digunakan sebagai nilai referensi untuk menghitung persentase kecerahan lampu terhadap kondisi normal, sedangkan nilai 100 berfungsi sebagai konstanta untuk mengubah hasil perbandingan tersebut ke dalam bentuk persentase (%). Dengan penggunaan parameter-parameter tersebut, Simulink dapat menghitung secara otomatis nilai lumen, lux, dan tingkat kecerahan sesuai dengan kondisi tegangan yang disimulasikan.

Perhitungan

1. Tegangan Rms (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 326,7 / 1,4142

Vrms = 231 V

2. Tegangan Puncak

V Peak = V Rms X /2

V Peak = 231 X 1,414

V Peak = 326,7 V

Daya Aktif

P = V Rms X I Rms X Pf

P = 231 X 0,2863 X 1

P = 66,15 W

3. Arus Rms

I Rms = V Rms / R

I Rms = 231 / 806,7

I Rms = 0,2863 A

4. Arus Puncak

I Peak = I Rms X Akar(2)

I Peak = 0,2863 X 1,414

I Peak = 0,405 A

5. Impedansi

Z = V Rms / I Rms

Z = 231 / 0,2863

Z = 806,7 Ohm

6. Resistansi (R)

R = Z × Pf

R = 806,7 × 1

R = 806,7 Ω

7. Daya Semu

S = V Rms X I Rms

S = 231 X 0,2863

S = 66,15 Va

8. Faktor Daya

Pf = P / S

Pf = 66,15 / 66,15

Pf = 1

9. Lumen

L = L X (V / Vnom)^3,4

L = 700 X (231 / 220)^3,4

L = 826,3 Lumen

10. Lux

Lux = L / 10

Lux = 826,3 / 10

Lux = 82,63 Lux

11. Kecerahan

K = (Lumen / 700) × 100%

K = (826,3 / 700) × 100%

K = 118%

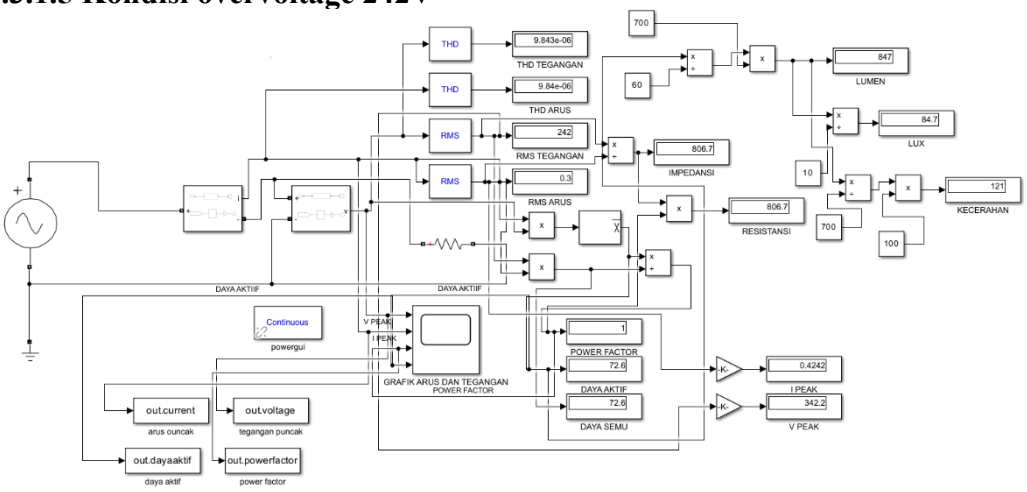
12. Thd Tegangan

Thd Tegangan = 6,472 X 10^-6

13. Thd Arus

Thd Arus = 6,481 X 10^-6

4.3.1.5 Kondisi overvoltage 242V



Gambr 4. 6 Rangkaian Lampu Pijar 60W undervoltage -10%

Gambar 4.6 menunjukkan rangkaian simulasi lampu pijar 60 W dengan tegangan 242 V menggunakan MATLAB/Simulink. Beban lampu dimodelkan sebagai beban resistif dengan resistansi 806,7 Ω. Hasil simulasi menunjukkan tegangan RMS sebesar 242 V dan arus RMS sebesar 0,3 A. Dari hasil tersebut diperoleh daya aktif dan daya semu masing-masing sebesar 72,6 W dan 72,6 VA, dengan faktor daya sebesar 1. Tegangan puncak yang dihasilkan sebesar 342,2 V, sedangkan arus puncak sebesar 0,4242 A. Nilai lumen sebesar 967,9 lumen dan pencahayaan sebesar 96,79 lux. Nilai THD tegangan dan arus yang sangat kecil menunjukkan bahwa gelombang hampir tidak mengalami distorsi harmonisa.

Pada rangkaian simulasi digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter perhitungan. Nilai 60 menunjukkan daya normal lampu pijar sebesar 60 W yang digunakan sebagai acuan dalam simulasi. Nilai 700 merupakan fluks cahaya (lumen) normal lampu 60 W yang dijadikan referensi untuk menghitung jumlah

lumen yang dihasilkan. Selanjutnya, nilai 10 menyatakan luas ruangan sebesar 10 m^2 yang digunakan dalam perhitungan intensitas pencahayaan (lux). Berdasarkan hubungan antara lumen dan luas area, nilai lux diperoleh dengan membagi fluks cahaya terhadap luas ruangan sehingga menunjukkan tingkat pencahayaan yang diterima pada setiap meter persegi. Selain itu, nilai 700 kembali digunakan sebagai nilai referensi untuk menghitung persentase kecerahan lampu terhadap kondisi normal, sedangkan nilai 100 berfungsi sebagai konstanta untuk mengubah hasil perbandingan tersebut ke dalam bentuk persentase (%). Dengan penggunaan parameter-parameter tersebut, Simulink dapat menghitung secara otomatis nilai lumen, lux, dan tingkat kecerahan sesuai dengan kondisi tegangan yang disimulasikan.

Perhitungan

1. Tegangan Rms (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 342,2 / 1,4142

Vrms = 242 V

2. Perhitungan Tegangan Puncak

V Peak = V Rms X /2

V Peak = 242 X 1,414

V Peak = 342,2 V

3. Perhitungan Daya Aktif

P = V Rms X I Rms

P = 242 X 0,300

P = 72,6 W

4. Perhitungan Arus Rms

I Rms = V Rms / R

I Rms = 242 / 806,7

I Rms = 0,300 A

5. Perhitungan Arus Puncak

I Peak = I Rms X Akar(2)

I Peak = 0,300 X 1,414

I Peak = 0,4242 A

6. Perhitungan Impedansi

Z = V Rms / I Rms

Z = 242 / 0,300

Z = 806,7 Ohm

7. Perhitungan Resistansi

Resistansi (R)

R = Z × Pf

R = 806,7 × 1

R = 806,7 Ω

8. Perhitungan Daya Semu

S = V Rms X I Rms

S = 242 X 0,300

S = 72,6 Va

9. Perhitungan Daya Aktif

P = V Rms X I Rms X Pf

P = 242 X 0,300 X 1

P = 72,6 W

10. Perhitungan Faktor Daya

Pf = P / S

Pf = 72,6 / 72,6

Pf = 1

Q = 0 Var

11. Perhitungan Lumen

L = L X (V / Vnom)^3,4

L = 700 X (242 / 220)^3,4

L = 700 X (1,1)^3,4

L = 967,9 Lumen

12. Perhitungan Lux

Lux = L / 10

Lux = 967,9 / 10

Lux = 96,79 Lux

13. Kecerahan

K = (Lumen / 700) × 100%

K = (967.9 / 700) × 100%

K = 138%

14. Thd Tegangan

Thd Tegangan = 9,843 X 10^-6

15. Thd Arus

Thd Arus = 9,84 X 10^-6

4.3.1.6 Rekapitulasi Hasil Simulasi Lampu Pijar 60 W

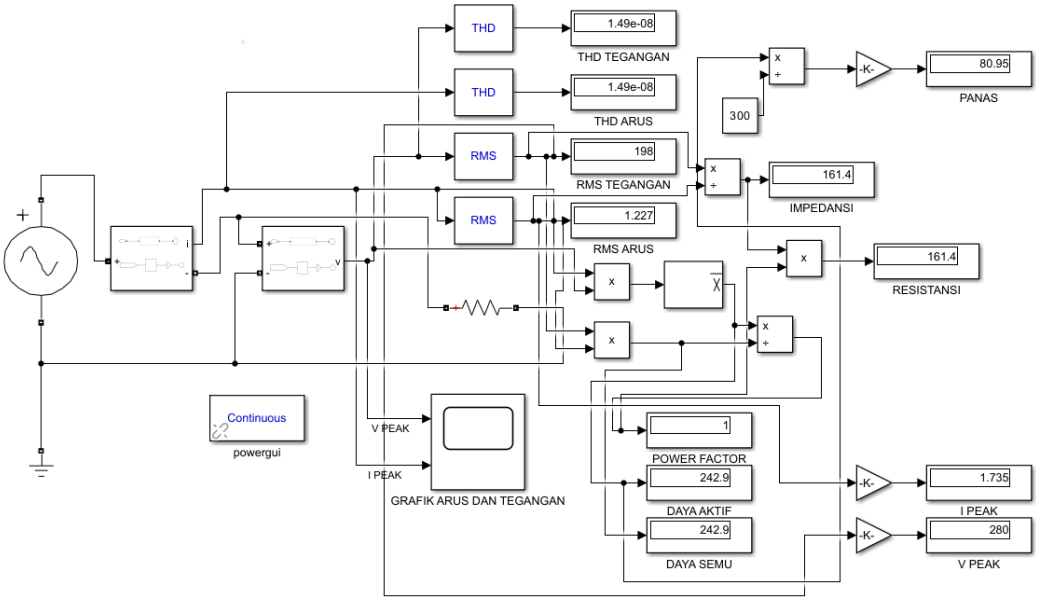
Tabel 4. 4 Hasil simulasi lampu pijar 60w

Parameter	Satuan	198v	209v	220v	231v	242v
I Rms	A	0,2454	0,259	0,2727	0,2863	0,300
V Rms	V	198	209	220	231	242
Impedansi	Ω	806,7	806,7	806,7	806,7	806,7
Resistansi	Ω	806,7	806,7	806,7	806,7	806,7
Daya Aktif	W	48,59	54,15	60	66,15	72,6
Daya Semu	VA	48,59	54,12	60	66,15	72,6
Pf	-	1	1	1	1	1
I Peak	A	0,3471	0,3663	0,3857	0,405	0,4242
V Peak	V	280	295,5	311,1	326,7	342,2
Lumen	LM	566,9	631,4	700	826,3	967,9
Lux	LX	56,69	63,14	70	82,63	96,79
Kecerahan	%	80,98	90,2	100	118	138,3
I Thd	-	$1{,}49 \times 10^{-8}$	$1{,}49 \times 10^{-8}$	$5{,}18 \times 10^{-6}$	$6{,}472 \times 10^{-6}$	$9{,}843 \times 10^{-6}$
V Thd	-	$1{,}49 \times 10^{-8}$	$1{,}49 \times 10^{-8}$	$5{,}136 \times 10^{-6}$	$6{,}481 \times 10^{-6}$	$9{,}84 \times 10^{-6}$

4.3.2 Setrika

Setrika merupakan beban resistif dengan daya normal 300 W. Pada penelitian ini, setrika disimulasikan pada kondisi normal (220V), undervoltage (198v,209v) dan overvoltage (231v dan 241v) untuk menganalisis pengaruh penurunan tegangan terhadap karakteristik listrik beban. Kondisi tersebut menyebabkan arus dan daya yang diserap setrika menurun dibandingkan dengan kondisi tegangan normal.

4.3.2.1 Kondisi undervoltage 198v



Gambr 4. 7 Rangkaian Setrika 300W undervoltage -10%

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengukuran beberapa parameter listrik dari simulasi setrika 300 W pada kondisi undervoltage 198 V menggunakan MATLAB/Simulink. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan RMS yang diterima beban sebesar 198 V, sedangkan arus RMS yang mengalir sebesar 1,227 A. Berdasarkan kedua nilai tersebut diperoleh impedansi sebesar 161,4 Ω, yang sama dengan nilai resistansi karena setrika merupakan beban resistif murni. Faktor daya (Power Factor) yang diperoleh bernilai 1, menunjukkan bahwa seluruh daya listrik yang diserap beban diubah menjadi daya aktif tanpa adanya daya reaktif.

Pada simulasi Angka 300 menunjukkan daya normal setrika sebesar 300 W. Nilai ini digunakan sebagai parameter masukan untuk menghitung karakteristik kinerja beban, seperti daya yang dikonsumsi, impedansi, dan tingkat panas yang dihasilkan. Pada simulasi, daya normal 300 W menjadi acuan dalam menentukan besarnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas oleh elemen pemanas setrika.

Dengan menggunakan nilai daya tersebut, sistem dapat menghitung keluaran berupa tingkat panas sesuai dengan kondisi tegangan yang diberikan, sehingga perubahan tegangan akan terlihat pengaruhnya terhadap performa pemanasan setrika.

Perhitungan

1. Tegangan Rms (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 279,99 / 1,4142

Vrms = 198 V

2. Menghitung Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 198 × 1,4142

Vpeak = 279,99 V

3. Menghitung Daya Aktif

P = V × I

P = 198 × 1,227

P = 242,95 W

4. Menghitung Arus RMS

Irms = Vrms / R

Irms = 198 / 161,33

Irms = 1,227 A

5. Menghitung Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 1,227 × 1,4142

Ipeak = 1,735 A

6. Menghitung Impedansi

Z = V / I

Z = 198 / 1,227

Z = 161,4 Ω

7. Menghitung Resistansi Beban

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 300$

R = 48400 / 300

R = 161,33 Ω

8. Menghitung Daya Semu

S = V × I

S = 198 × 1,227

S = 242,95 VA

9. Menghitung Faktor Daya

PF = P / S

PF = 242,95 / 242,95

PF = 1

10. Menghitung Persentase Panas

Panas = (P / 300) × 100%

Panas = (242,95 / 300) × 100%

Panas = 80,98%

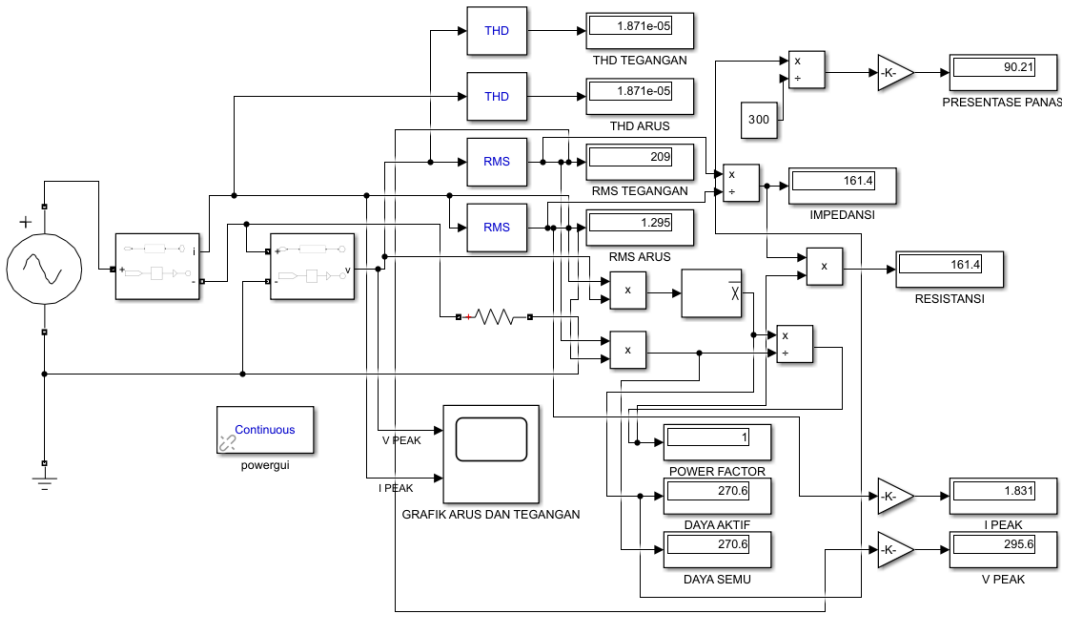
11. THD Tegangan

= 1,49 × 10^{-8}

12. THD Arus

= 1,49 × 10^{-8}

4.3.2.2 Kondisi undervoltage 209v



Gambr 4. 8 Rangkaian Setrika 300W undervoltage -5%

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengukuran parameter listrik setrika 300 W

pada kondisi undervoltage 209 V menggunakan MATLAB/Simulink. Dari hasil simulasi diperoleh tegangan RMS sebesar 209 V dan arus RMS sebesar 1,295 A. Nilai arus tersebut sesuai dengan karakteristik beban resistif, di mana arus berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan. Impedansi dan resistansi beban masing-masing sebesar 161,4 Ω. Nilai tersebut sesuai dengan hasil perhitungan resistansi setrika berdasarkan daya normal 300 W pada tegangan 220 V. Karena setrika merupakan beban resistif murni, maka nilai impedansi sama dengan nilai resistansi. Pada simulasi Angka 300 menunjukkan daya normal setrika sebesar 300 W. Nilai ini digunakan sebagai parameter masukan untuk menghitung karakteristik kinerja beban, seperti daya yang dikonsumsi, impedansi, dan tingkat panas yang dihasilkan. Pada simulasi, daya normal 300 W menjadi acuan dalam menentukan besarnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas oleh elemen pemanas setrika. Dengan menggunakan nilai daya tersebut, sistem dapat menghitung keluaran berupa tingkat panas sesuai dengan kondisi tegangan yang diberikan, sehingga perubahan tegangan akan terlihat pengaruhnya terhadap performa pemanasan setrika.

Perhitungan

1. Tegangan Rms (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 295.6 / 1,4142

Vrms = 209 V

2. Menghitung Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 209 × 1,4142

Vpeak = 295,57 V

Vpeak ≈ 295,6 V

3. Menghitung Daya Aktif (P):

P = Vrms × Irms

P = 209 × 1,295

P = 270,66 W

4. Menghitung Arus RMS (Irms)

Irms = Vrms / R

Irms = 209 / 161,33

Irms = 1,295 A

5. Menghitung Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 1,295 × 1,4142

Ipeak = 1,831 A

6. Menghitung Impedansi (Z)

Z = Vrms / Irms

Z = 209 / 1,295

Z = 161,4 Ω

7. Menghitung Resistansi Beban

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 300$

R = 48400 / 300

R = 161,33 Ω

8. Menghitung Daya Semu (S)

S = Vrms × Irms

S = 209 × 1,295

S = 270,66 VA

9. Menghitung Faktor Daya (PF)

PF = P / S

PF = 270,66 / 270,66

PF = 1

10. Menghitung Persentase Panas

Persentase Panas = (P / Pnormal) × 100%

Persentase Panas = (270,66 / 300) × 100%

Persentase Panas = 90,22%

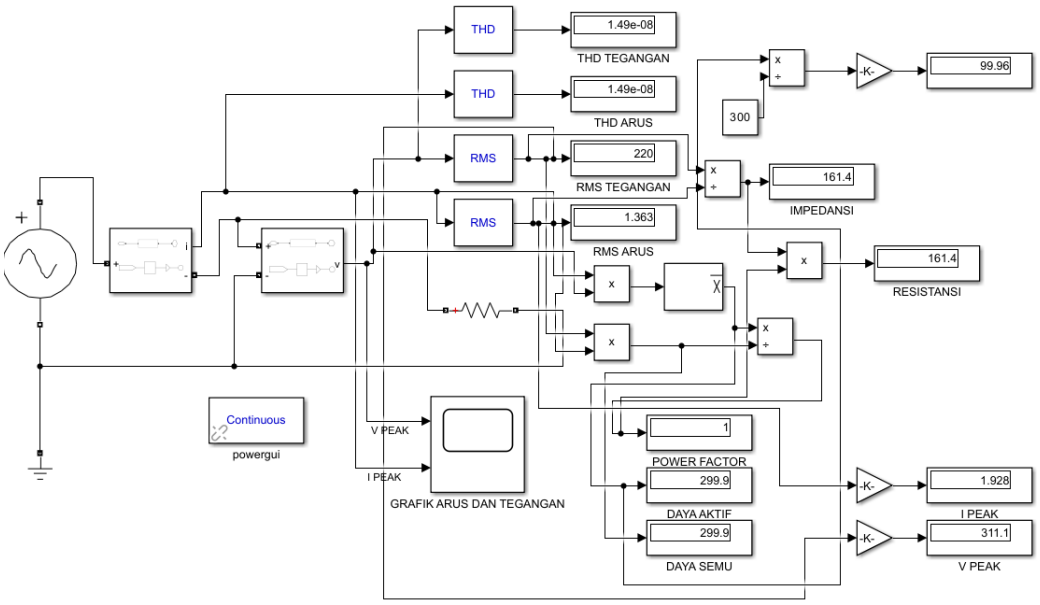
11. THD tegangan

$1{,}871 \times 10^{-5}$

12. THD Arus

871×10^{-5}

4.3.2.3 Kondisi Normal 220v



Gambr 4. 9 Rangkaian Setrika 300w kondisi normal

Pada gambar 4.9 Menunjukkan hasil simulasi, diperoleh nilai tegangan RMS sebesar 220 V dan arus RMS sebesar 1,364 A. Daya aktif yang dikonsumsi beban sebesar 300,1 W, sedangkan daya semu sebesar 300,1 VA. Nilai faktor daya (Power Factor) sebesar 1 menunjukkan bahwa lampu pijar bekerja sebagai beban resistif, sehingga tidak terdapat pergeseran fasa antara tegangan dan arus. Selain itu, diperoleh nilai THD tegangan sebesar $5{,}18 \times 10^{-6}$ dan THD arus sebesar $5{,}142 \times 10^{-6}$. Nilai THD yang sangat kecil menunjukkan bahwa bentuk gelombang tegangan dan arus hampir sinusoidal sempurna serta tidak mengalami distorsi harmonisa yang berarti. Pada simulasi Angka 300 menunjukkan daya normal setrika sebesar 300 W. Nilai ini digunakan sebagai parameter masukan untuk menghitung karakteristik kinerja beban, seperti daya yang dikonsumsi, impedansi, dan tingkat panas yang dihasilkan. Pada simulasi, daya normal 300 W menjadi acuan dalam menentukan besarnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas oleh elemen pemanas setrika. Dengan menggunakan nilai daya tersebut, sistem dapat menghitung keluaran berupa tingkat panas sesuai dengan kondisi tegangan yang diberikan, sehingga perubahan tegangan akan terlihat pengaruhnya terhadap performa pemanasan setrika.

Perhitungan

1. Tegangan RMS (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 311,13 / 1,4142

Vrms = 220 V

2. Menghitung Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 220 × 1,4142

Vpeak = 311,12 V

Vpeak ≈ 295,6 V

3. Menghitung Daya Aktif

P = Vrms × Irms

P = 220 × 1,295

P = 300 W

4. Arus RMS (Irms)

Irms = P / (V × PF)

Irms = 300 / (220 × 1)

Irms = 300 / 220

Irms = 1,364 A

5. Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 1,364 × 1,4142

Ipeak = 1,929 A

6. Impedansi (Z)

Z = Vrms / Irms

Z = 220 / 1,364

Z = 161,3 Ω

7. Resistansi (R)

R = Z × PF

R = Z × cos(θ)

R = 161,3 × 1

R = 161,3 Ω

8. Daya Semu (S)

S = V × I

S = 220 × 1,364

S = 300,08 VA

9. Power factor dapat dihitung sebagai berikut:

PF = P / S

PF = 300 / 300,08

PF = 1,0

10. Presentase panas

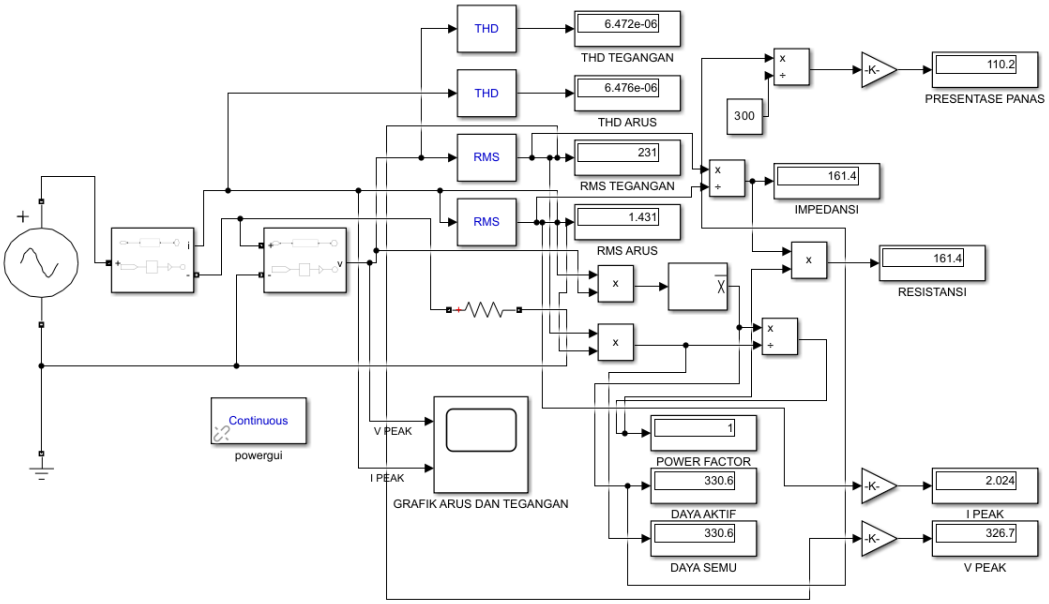
$$\eta = (\frac{w}{w_{nom}}) \times 100$$

$$\eta = (\frac{300}{300}) \times 100$$

$$\eta = (1x100)$$

$$\eta = 100$$

4.3.2.4 Kondisi Overvoltage 231v



Gambr 4. 10 Rangkaian Setrika 300W overvoltage -5%

Gambar 4.10 hasil simulasi MATLAB/Simulink, setrika dengan spesifikasi 300 W, 220 V diuji pada kondisi overvoltage sebesar 231 V. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan RMS yang diterima beban adalah 231 V, sedangkan arus RMS meningkat menjadi 1,431 A. Kenaikan arus ini terjadi karena resistansi

elemen pemanas tetap sebesar 161,4 Ω, sehingga sesuai dengan Hukum Ohm, peningkatan tegangan akan menyebabkan arus yang mengalir menjadi lebih besar. Daya aktif yang dihasilkan sebesar 330,6 W dan sama dengan daya semu karena faktor daya bernilai 1, yang menunjukkan bahwa setrika merupakan beban resistif murni tanpa komponen induktif maupun kapasitif. Nilai impedansi dan resistansi yang sama, yaitu 161,4 Ω, semakin memperkuat bahwa karakteristik beban adalah resistif. Nilai tegangan puncak (Vpeak) yang diperoleh sebesar 326,7 V, sesuai dengan hasil perhitungan dari tegangan RMS sebesar 231 V. Arus puncak (Ipeak) sebesar 2,024 A juga sesuai dengan hubungan antara arus RMS dan arus puncak pada gelombang sinus. Selain itu, nilai THD tegangan sebesar $6{,}472 \times 10^{-6}$ dan THD arus sebesar $6{,}476 \times 10^{-6}$ menunjukkan bahwa bentuk gelombang hampir sinusoidal sempurna sehingga harmonisa dapat diabaikan. Persentase panas yang dihasilkan mencapai 110,2% dari kondisi normal. Hal ini menunjukkan bahwa akibat kenaikan tegangan sekitar 5% (220 V menjadi 231 V), daya pemanasan meningkat menjadi sekitar 330,6 W, sehingga elemen pemanas bekerja lebih panas dibandingkan kondisi normal. Pada simulasi Angka 300 menunjukkan daya normal setrika sebesar 300 W. Nilai ini digunakan sebagai parameter masukan untuk menghitung karakteristik kinerja beban, seperti daya yang dikonsumsi, impedansi, dan tingkat panas yang dihasilkan. Pada simulasi, daya normal 300 W menjadi acuan dalam menentukan besarnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas oleh elemen pemanas setrika. Dengan menggunakan nilai daya tersebut, sistem dapat menghitung keluaran berupa tingkat panas sesuai dengan kondisi tegangan yang diberikan, sehingga perubahan tegangan akan terlihat pengaruhnya terhadap performa pemanasan setrika.

Perhitungan

1. Tegangan RMS (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 326,68 / 1,4142

Vrms = 231 V

2. Menghitung Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 231 × 1,4142

Vpeak = 326,68 V

3. Menghitung Daya Aktif

P = Vrms × Irms

P = 231 × 1,431

P = 330,6 W

4. Menghitung Arus RMS

Irms = Vrms / R

Irms = 231 / 161,4

Irms = 1,431 A

5. Menghitung Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 1,431 × 1,4142

Ipeak = 2,024 A

6. Menghitung Impedansi

Z = Vrms / Irms

Z = 231 / 1,431

Z = 161,4 Ω

7. Menghitung Resistansi Beban

R = V^2 / P

R = 220^2 / 300

R = 48400 / 300

R = 161,33 Ω

8. Menghitung Arus RMS

Irms = Vrms / R

Irms = 231 / 161,4

Irms = 1,431 A

9. Menghitung Daya Semu

S = 231 × 1,431

S = 330,6 VA

10. Menghitung Faktor Daya

PF = P / S

PF = 330,6 / 330,6

PF = 1

11. Persentase Kenaikan Daya (Presentase Panas)

Persentase Panas = (Psimulasi / Pnormal) × 100%

Persentase Panas = (330,6 / 300) × 100%

Persentase Panas = 110,2%

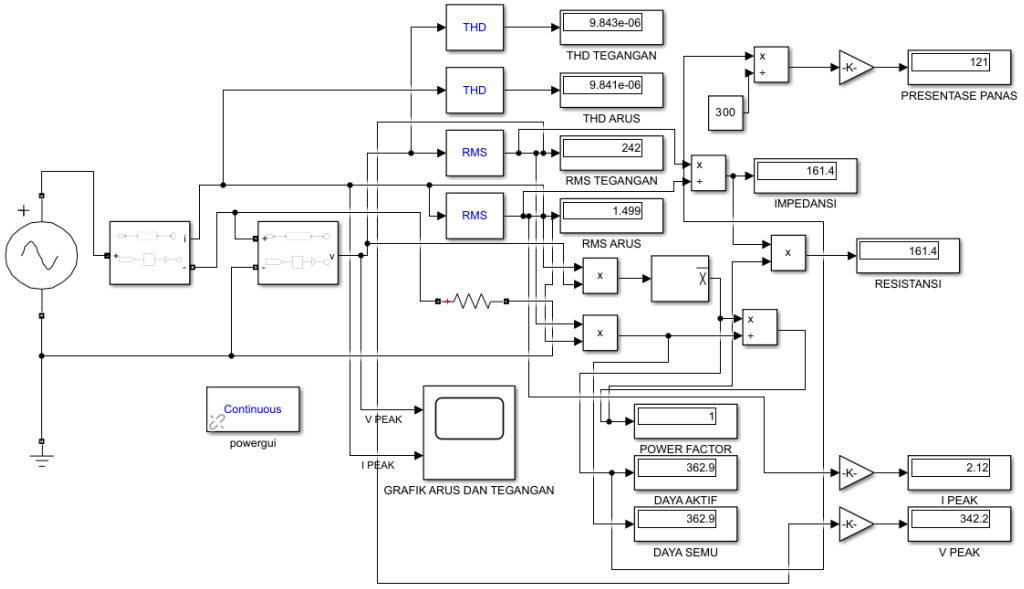
12. THD Tegangan

$6{,}472 \times 10^{-6}$ %

13. THD Arus

$6{,}476 \times 10^{-6}$ %

4.3.2.5 Kondisi Overvoltage 242v



Gambr 4. 11 Rangkaian Setrika 300W overvoltage -10%

Gambar 4.11 memperlihatkan hasil simulasi MATLAB/Simulink, setrika dengan spesifikasi 300 W dan tegangan normal 220 V diuji pada kondisi overvoltage sebesar 242 V atau sekitar 10% di atas tegangan normal. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan RMS yang diterima beban adalah 242 V, sedangkan arus RMS meningkat menjadi 1,499 A. Kenaikan arus terjadi karena resistansi elemen pemanas tetap sebesar 161,4 Ω, sehingga sesuai Hukum Ohm, peningkatan tegangan menyebabkan arus yang mengalir menjadi lebih besar. Daya aktif yang dihasilkan mencapai 362,9 W, meningkat sekitar 62,9 W dibandingkan daya normal sebesar 300 W. Karena setrika merupakan beban resistif murni, faktor daya bernilai 1, sehingga nilai daya aktif sama dengan daya semu, yaitu 362,9 VA.

Nilai impedansi dan resistansi yang sama sebesar 161,4 Ω menunjukkan bahwa karakteristik beban tidak mengalami perubahan selama simulasi. Tegangan puncak (Vpeak) yang diperoleh sebesar 342,2 V, sesuai dengan hasil perhitungan dari tegangan RMS sebesar 242 V, sedangkan arus puncak (Ipeak) sebesar 2,12 A diperoleh dari konversi arus RMS. Nilai THD tegangan sebesar $9{,}843 \times 10^{-6}$ dan THD arus sebesar $9{,}841 \times 10^{-6}$ menunjukkan bahwa distorsi harmonisa hampir tidak ada sehingga bentuk gelombang tetap sinusoidal. Persentase panas yang dihasilkan mencapai 121%, yang berarti elemen pemanas menghasilkan panas sekitar 21% lebih besar dibandingkan kondisi normal akibat kenaikan tegangan.

Pada simulasi Angka 300 menunjukkan daya normal setrika sebesar 300 W. Nilai ini digunakan sebagai parameter masukan untuk menghitung karakteristik kinerja beban, seperti daya yang dikonsumsi, impedansi, dan tingkat panas yang dihasilkan. Pada simulasi, daya normal 300 W menjadi acuan dalam menentukan besarnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas oleh elemen pemanas setrika. Dengan menggunakan nilai daya tersebut, sistem dapat menghitung keluaran berupa tingkat panas sesuai dengan kondisi tegangan yang diberikan, sehingga perubahan tegangan akan terlihat pengaruhnya terhadap performa pemanasan setrika.

Perhitungan

1. Tegangan RMS (Vrms)

Vrms = Vpeak / √2

Vrms = 326,68 / 1,4142

Vrms = 242 V

2. Menghitung Tegangan Puncak (Vpeak)

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 242 × 1,4142

Vpeak = 342,24 V

Vpeak ≈ 342,2 V

3. Menghitung Daya Aktif

P = Vrms × Irms

P = 242 × 1,499

P = 362,9 W

4. Menghitung Arus RMS

Irms = Vrms / R

Irms = 242 / 161,4

Irms = 1,499 A

5. Menghitung Resistansi Beban

R = $Vnom^2$ / Pnom

R = 220^2 / 300

R = 48400 / 300

R = 161,33 Ω ≈ 161,4 Ω

6. Menghitung Arus Puncak (Ipeak)

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 1,499 × 1,4142

Ipeak = 2,12 A

7. Menghitung Impedansi

Z = Vrms / Irms

Z = 242 / 1,499

Z = 161,4 Ω

8. Menghitung Daya Semu

S = Vrms × Irms

S = 242 × 1,499

S = 362,9 VA

9. Menghitung Faktor Daya

PF = P / S

PF = 362,9 / 362,9

PF = 1

15. Menghitung Faktor Daya

PF = P / S

PF = 362,9 / 362,9

PF = 1

10. Menghitung Persentase Panas

Persentase Panas = (Psimulasi / Pnormal) × 100%

Persentase Panas = (362,9 / 300) × 100%

Persentase Panas = 120,97%

11. THD Tegangan

$= 9{,}843 \times 10^{-6}$ %

12. THD Arus

$= 9{,}841 \times 10^{-6}$ %

4.3.2.6 Rekapitulasi Hasil Simulasi setrika 300w

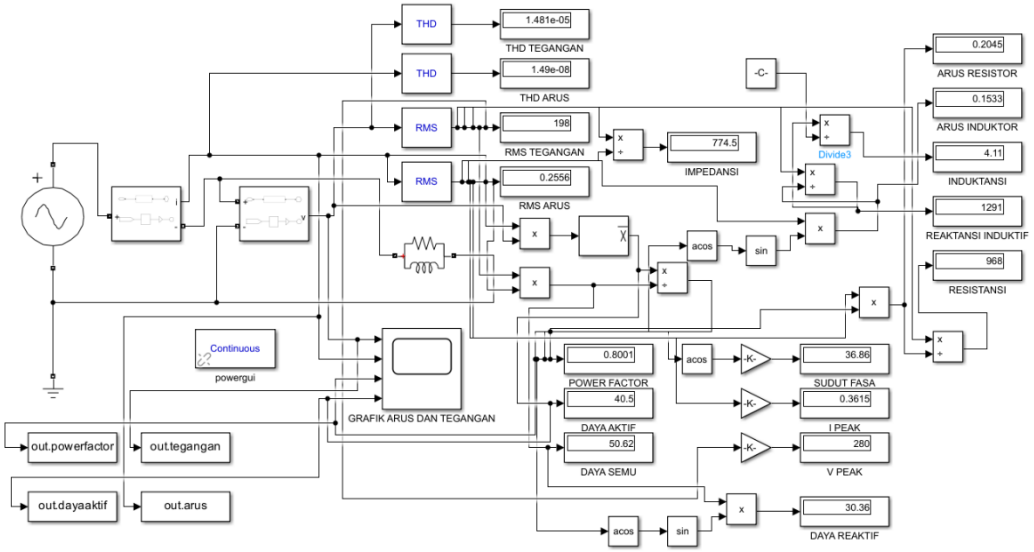
Tabel 4. 5 Hasil simulasi setrika 300w

Parameter	Satuan	198v	209v	220v	231v	242v
Vrms	V	198	209	220	231	242
Irms	A	1,227	1,295	1,364	1,431	1,499
Vpeak	V	280,0	295,6	311,1	326,7	342,2
Ipeak	A	1,735	1,832	1,929	2,024	2,120
Daya Aktif	W	243,0	270,6	300,0	330,6	362,9
Daya Semu	Va	243,0	270,6	300,0	330,6	362,9
Pf	-	1	1	1	1	1
Impedansi	Ω	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4
Resistansi	Ω	161,4	161,4	161,4	161,4	161,4
Thd V	%	$1.49e-08$	$1.871e-05$	$1.49e-08$	$6{,}472 \times 10^{-6}$	$9{,}843 \times 10^{-6}$
Thd I	%	$1.49e-08$	$1.871e-05$	$1.49e-08$	$6{,}476 \times 10^{-6}$	$9{,}843 \times 10^{-6}$
Presentasi Panas	%	81,0	90,2	100,0	110,2	121,0

4.3.3 Kipas Angin

Setrika merupakan beban induktif dengan daya normal 50 W. Pada penelitian ini, kipas angin disimulasikan pada kondisi normal (220V), undervoltage (198v,209v) dan overvoltage (231v dan 242v) untuk menganalisis pengaruh penurunan tegangan terhadap karakteristik listrik beban. Kondisi tersebut menyebabkan arus dan daya yang diserap kipas angin menurun dibandingkan dengan kondisi tegangan normal.

4.3.3.1 Kondisi Undervoltage 198v



Gambr 4. 12 Rangkaian kipas angin 50W undervoltage -10%

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat dilihat rangkaian simulasi MATLAB/Simulink yang digunakan untuk menganalisis respon beban induktif terhadap perubahan tegangan. Pada rangkaian tersebut digunakan sumber tegangan AC yang dihubungkan dengan beban R-L. Beberapa parameter kelistrikan diukur, seperti tegangan RMS, arus RMS, impedansi, induktansi, reaktansi induktif, resistansi, faktor daya, sudut fasa, daya aktif, daya semu, dan daya reaktif. Pengukuran parameter tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tegangan terhadap kinerja beban listrik sesuai dengan judul penelitian. Dari hasil simulasi diperoleh nilai tegangan RMS sebesar 198 V dan arus RMS sebesar 0,2556 A. Nilai impedansi yang diperoleh sebesar 774,5 Ω, dengan resistansi sebesar 968 Ω dan reaktansi induktif sebesar 1291 Ω. Selain itu, faktor daya yang diperoleh sebesar 0,8 dengan sudut fasa sebesar 36,86°. Hasil tersebut menunjukkan bahwa beban yang digunakan memiliki karakteristik induktif karena terdapat perbedaan fasa antara tegangan dan arus.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

Vpeak = Vrms x √2

Vpeak = 198 x 1,4142

Vpeak = 280,04 V

Jadi:

Vpeak = 280,01 V

2. Menghitung Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 50$

$R = 48.400 / 50$

R = 968 Ω

3. Induktansi

$L = V^2 / [2\pi fP \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3,1416 \times 50 \times 50 \times \tan(\cos^{-1}(0,8))]$

$\cos^{-1}(0,8) = 36,87°$

$L = 48.400 / [2 \times 3,1416 \times 50 \times 50 \times 0,75]$

$L = 48.400 / 11.781$

L = 4,11 H

4. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$XL = 2 \times \pi \times f \times L$

$XL = 2 \times 3,1416 \times 50 \times 4,11$

XL = 1291,19 Ohm

Jadi:

XL = 1291,19 Ohm

5. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

$IR = Vrms / R$

$IR = 198 / 968$

IR = 0,2045 A

Jadi:

IR = 0,2045 A

6. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

$IL = Vrms / XL$

$IL = 198 / 1291,19$

IL = 0,1533 A

Jadi:

IL = 0,1533 A

7. Menghitung Arus RMS Total

Karena arus pada resistor dan induktor berbeda fasa sebesar 90 derajat:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,2045^2 + 0,1533^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,04182 + 0,02350)}$

$Irms = \sqrt{0,06532}$

Irms = 0,2556 A

Jadi:

Irms = 0,2556 A

8. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

Ipeak = 0,2556 x 1,4142

Ipeak = 0,3615 A

Jadi:

Ipeak = 0,3615 A

9. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/968)^2 + (1/1291,19)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0,000001067 + 0,000000600)}$

$Z = 1 / \sqrt{0,000001667}$

Z = 1 / 0,001291

Z = 774,5 Ohm

Jadi:

Z = 774,5 Ohm

Verifikasi:

Z = Vrms / Irms

Z = 198 / 0,2556

Z = 774,65 Ohm

Jadi nilai impedansi tetap sekitar:

Z = 774,5 Ohm

10. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 198^2 / 968$

P = 39204 / 968

P = 40,50 W

Jadi:

P = 40,50

11. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 198^2 / 1291,19$

Q = 39204 / 1291,19

Q = 30,36 VAR

Jadi:

Q = 30,36 VAR

12. Menghitung Daya Semu

Rumus:

S = Vrms x Irms

S = 198 x 0,2556

S = 50,61 VA

Jadi:

S = 50,61 VA

13. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

PF = P / S

PF = 40,50 / 50,61

PF = 0,8002

Dibulatkan:

PF = 0,80

14. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0,8)$

$\theta = 36,87$ derajat

Jadi:

Sudut fasa = 36,87 derajat

Karena beban bersifat induktif, arus total tertinggal terhadap tegangan.

15. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(40,50^2 + 30,36^2)}$

$S = \sqrt{(1640,25 + 921,73)}$

$S = \sqrt{2561,98}$

S = 50,62 VA

Hasil mendekati nilai daya semu sebelumnya.

16. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + V4^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Tegangan = $1,49 \times 10^{-8}$ %

17. Menghitung THD Arus

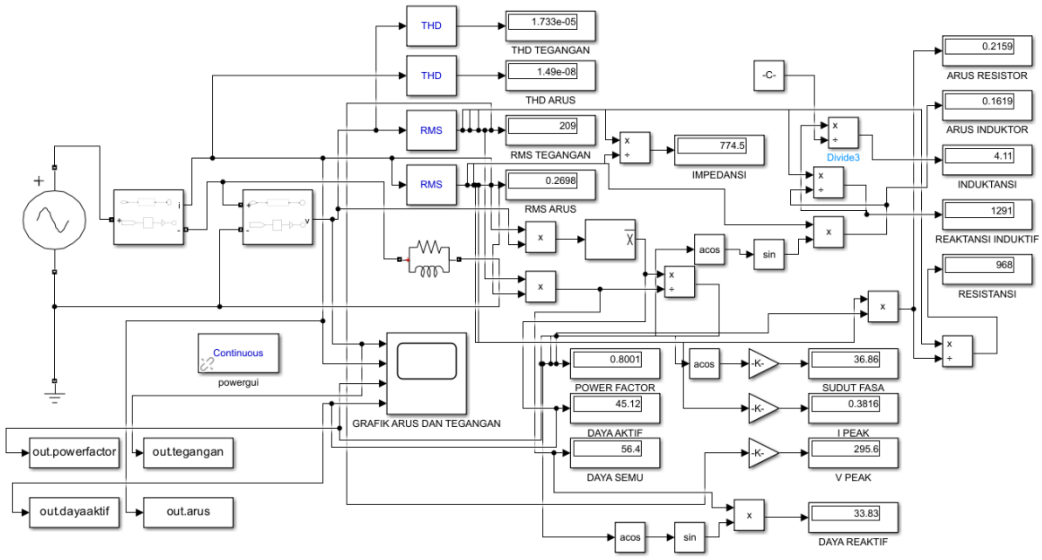
Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + I4^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Arus = $1,49 \times 10^{-8}$ %

4.3.3.2 Kondisi Undervoltage 209v



Gambr 4. 13 Rangkaian kipas angin 50W undervoltage -5%

Berdasarkan Gambar 4.13, dapat dilihat rangkaian simulasi MATLAB/Simulink yang digunakan untuk menganalisis respon dan kinerja beban induktif pada kondisi tegangan tertentu. Rangkaian simulasi terdiri dari sumber tegangan AC, blok pengukuran tegangan dan arus, serta beban induktif R-L. Pada rangkaian tersebut dilakukan pengukuran beberapa parameter kelistrikan, yaitu tegangan RMS, arus RMS, impedansi, induktansi, reaktansi induktif, resistansi, faktor daya, sudut fasa, daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus puncak, tegangan puncak, serta THD tegangan dan THD arus. Pengukuran parameter tersebut dilakukan untuk mengetahui respon dan dampak perubahan tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga sesuai dengan tujuan penelitian. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai tegangan RMS sebesar 209 V dan arus RMS sebesar 0,2698 A. Nilai impedansi yang diperoleh sebesar 774,5 Ohm, dengan nilai induktansi sebesar 4,11 H, reaktansi induktif sebesar 1291 Ohm, dan resistansi sebesar 968 Ohm. Beban memiliki faktor daya sebesar 0,8 dengan sudut fasa sebesar 36,86°. Nilai tersebut menunjukkan bahwa beban yang digunakan memiliki karakteristik induktif karena terdapat perbedaan fasa antara tegangan dan arus. Pada kondisi ini diperoleh daya aktif sebesar 45,12W, daya semu sebesar 56,4 VA, dan daya reaktif sebesar 33,83 VAR. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian daya listrik yang digunakan oleh beban berupa daya reaktif akibat adanya komponen induktif pada beban.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

$V_{peak} = 209 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 295{,}57\ V$

Jadi:

$V_{peak} = 295{,}57\ V$

2. Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 50$

$R = 48.400 / 50$

$R = 968\ \Omega$

3. Induktansi

$L = V^2 / [2\pi fP \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 50 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}8))]$

$\cos^{-1}(0{,}8) = 36{,}87°$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 50 \times 0{,}75]$

$L = 48.400 / 11.781$

$L = 4{,}11\ H$

4. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$

$X_L = 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 4{,}11$

$X_L = 1291{,}19\ Ohm$

Jadi:

$X_L = 1291{,}19\ Ohm$

5. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

$I_R = V_{rms} / R$

$I_R = 209 / 968$

$I_R = 0{,}2159\ A$

Jadi:

IR = 0,2159 A

6. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

IL = Vrms / XL

IL = 209 / 1291,19

IL = 0,1619 A

Jadi:

IL = 0,1619 A

7. Menghitung Arus RMS Total

Karena arus resistor dan arus induktor berbeda fasa sebesar 90 derajat:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,2159^2 + 0,1619^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,04661 + 0,02621)}$

$Irms = \sqrt{0,07282}$

Irms = 0,2699 A

Jadi:

Irms = 0,2699 A

8. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

Ipeak = 0,2699 x 1,4142

Ipeak = 0,3817 A

Jadi:

Ipeak = 0,3817 A

9. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/968)^2 + (1/1291,19)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0,000001067 + 0,000000600)}$

$Z = 1 / \sqrt{0,000001667}$

Z = 1 / 0,001291

Z = 774,5 Ohm

Jadi:

Z = 774,5 Ohm

Verifikasi:

Z = Vrms / Irms

Z = 209 / 0,2699

Z = 774,36 Ohm

Jadi nilai impedansi total:

Z = 774,5 Ohm

10. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 209^2 / 968$

P = 43681 / 968

P = 45,13 W

Jadi:

P = 45,13 W

11. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 209^2 / 1291,19$

Q = 43681 / 1291,19

Q = 33,83 VAR

Jadi:

Q = 33,83 VAR

12. Menghitung Daya Semu

Rumus:

S = Vrms x Irms

S = 209 x 0,2699

S = 56,41 VA

Jadi:

S = 56,41 VA

13. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

PF = P / S

PF = 45,13 / 56,41

PF = 0,8000

Jadi:

PF = 0,80

14. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0,8)$

$\theta = 36,87$ derajat

Jadi:

Sudut fasa = 36,87 derajat

Karena beban bersifat induktif, arus total tertinggal terhadap tegangan.

15. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(45,13^2 + 33,83^2)}$

$S = \sqrt{(2036,72 + 1144,46)}$

$S = \sqrt{3181,18}$

S = 56,40 VA

Hasil tersebut mendekati hasil perhitungan daya semu:

S = 56,41 VA

16. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + V4^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Tegangan = 1,49 x 10^-8 %

17. Menghitung THD Arus

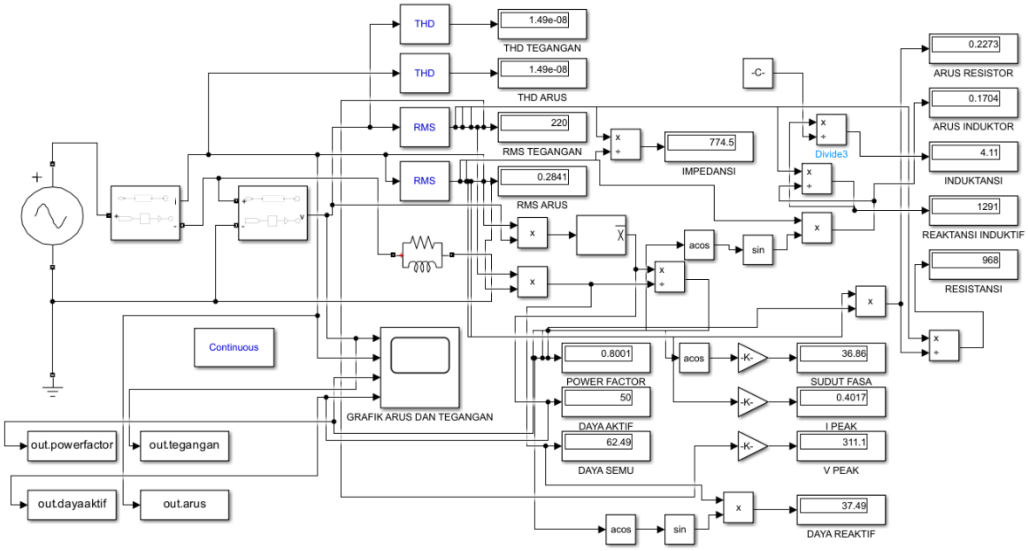
Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + I4^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Arus = 1,49 x 10^-8 %

4.3.3.3 Kondisi Normal 220v



Gambr 4. 14 Rangkaian kipas angin 50W Normal

Berdasarkan Gambar 4.14 , terlihat rangkaian simulasi MATLAB/Simulink yang digunakan untuk menganalisis respon dan kinerja beban induktif pada kondisi tegangan normal 220 V. Rangkaian terdiri dari sumber tegangan AC, blok pengukuran tegangan dan arus, serta beban R-L yang digunakan sebagai model beban induktif. Pada rangkaian tersebut dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter kelistrikan, yaitu tegangan RMS, arus RMS, impedansi, induktansi, reaktansi induktif, resistansi, faktor daya, sudut fasa, daya aktif, daya semu, daya reaktif, arus puncak, tegangan puncak, serta THD tegangan dan THD arus. Hasil simulasi menunjukkan tegangan RMS sebesar 220 V dan arus RMS sebesar 0,2841 A. Selain itu, diperoleh nilai impedansi sebesar 774,5 Ohm, induktansi sebesar 4,11 H, reaktansi induktif sebesar 1291 Ohm, resistansi sebesar 968 Ohm, dan faktor daya sebesar 0,8. Nilai daya aktif yang diperoleh sebesar 50 W, sehingga beban yang digunakan memiliki karakteristik daya yang mendekati beban kipas angin 50 W pada tegangan 220 V.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

Vpeak = Vrms x √2

Vpeak = 220 x 1,4142

Vpeak = 311,12 V

Jadi:

Vpeak = 311,1 V

2. Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 50$

$R = 48.400 / 50$

$R = 968\ \Omega$

3. Induktansi

$L = V^2 / [2\pi fP \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3,1416 \times 50 \times 50 \times \tan(\cos^{-1}(0,8))]$

$\cos^{-1}(0,8) = 36,87°$

$L = 48.400 / [2 \times 3,1416 \times 50 \times 50 \times 0,75]$

$L = 48.400 / 11.781$

$L = 4,11\ H$

4. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

XL = 2 x π x f x L

XL = 2 x 3,1416 x 50 x 4,11

XL = 1291,19 Ohm

Jadi:

XL = 1291 Ohm

5. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

IR = Vrms / R

IR = 220 / 968

IR = 0,2273 A

Jadi:

IR = 0,2273 A

6. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

IL = Vrms / XL

IL = 220 / 1291,19

IL = 0,1704 A

Jadi:

IL = 0,1704 A

7. Menghitung Arus RMS Total

Karena IR dan IL berbeda sudut fasa 90 derajat:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,2273^2 + 0,1704^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,05167 + 0,02904)}$

$Irms = \sqrt{0,08071}$

Irms = 0,2841 A

Jadi:

Irms = 0,2841 A

8. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

Ipeak = 0,2841 x 1,4142

Ipeak = 0,4018 A

Jadi:

Ipeak = 0,4018 A

9. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/968)^2 + (1/1291,19)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0,000001067 + 0,000000600)}$

$Z = 1 / \sqrt{0,000001667}$

Z = 1 / 0,001291

Z = 774,5 Ohm

Jadi:

Z = 774,5 Ohm

10. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 220^2 / 968$

$P = 48400 / 968$

$P = 50$ W

Jadi:

$P = 50$ W

11. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 220^2 / 1291,19$

$Q = 48400 / 1291,19$

$Q = 37,49$ VAR

Jadi:

$Q = 37,49$ VAR

12. Menghitung Daya Semu

Rumus:

$S = Vrms \times Irms$

$S = 220 \times 0,2841$

$S = 62,50$ VA

Dibulatkan:

$S = 62,49$ VA

13. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

$PF = 50 / 62,49$

$PF = 0,8001$

Dibulatkan:

$PF = 0,801$

14. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0{,}801)$

$\theta = 36{,}78$ derajat

Dibulatkan:

$\theta = 36{,}8$ derajat

Karena rangkaian bersifat induktif, arus total tertinggal terhadap tegangan sebesar 36,8 derajat.

15. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(50^2 + 37{,}49^2)}$

$S = \sqrt{(2500 + 1405{,}50)}$

$S = \sqrt{3905{,}50}$

$S = 62{,}49$ VA

16. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Tegangan = 1,49 x 10^-8 %

17. Menghitung THD Arus

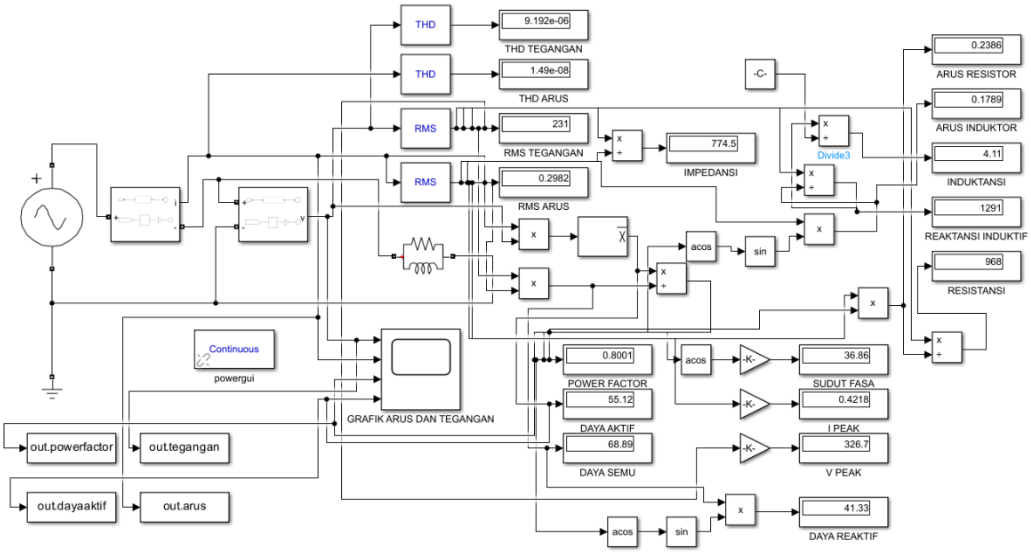
Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Arus = 1,49 x 10^-8 %

4.3.3.4 Kondisi Overvoltage 231v



Gambr 4. 15 Rangkaian kipas angin 50W overvoltage -5%

Berdasarkan Gambar 4.15, terlihat rangkaian simulasi MATLAB/Simulink yang digunakan untuk menganalisis respon dan dampak perubahan tegangan terhadap kinerja beban listrik rumah tangga. Pada simulasi ini digunakan beban induktif yang direpresentasikan sebagai beban kipas angin dengan daya sekitar 50 W. Beberapa parameter kelistrikan diukur, yaitu tegangan RMS, arus RMS, impedansi, induktansi, reaktansi induktif, resistansi, faktor daya, sudut fasa, daya aktif, daya semu, daya reaktif, tegangan puncak, arus puncak, serta THD tegangan dan THD arus. Hasil simulasi memperoleh tegangan RMS sebesar 231 V dan arus RMS sebesar 0,2982 A. Nilai daya aktif yang diperoleh sebesar 55,12 W, sedangkan daya semu sebesar 68,89 VA dan daya reaktif sebesar 41,33 VAR. Faktor daya yang diperoleh sebesar 0,8 dengan sudut fasa sebesar 36,86°. Nilai tersebut menggambarkan karakteristik beban induktif yang memiliki komponen daya aktif dan daya reaktif. Pada kondisi tegangan 231 V, tegangan mengalami kenaikan sebesar 5% dibandingkan tegangan normal 220 V. Oleh karena itu, kondisi ini digunakan sebagai kondisi overvoltage dalam penelitian. Hasil simulasi menunjukkan adanya perubahan nilai arus dan daya aktif akibat kenaikan tegangan. Nilai daya aktif meningkat menjadi 55,12 W, sehingga dapat diketahui bahwa perubahan tegangan memberikan pengaruh terhadap kinerja kelistrikan beban. Nilai THD tegangan sebesar 9,192 x 10^-6 dan THD arus sebesar 1,49 x 10^-8 menunjukkan bahwa distorsi harmonisa pada sistem sangat kecil.

Perhitungan

1. Tegangan Puncak

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

$= 231 \times 1{,}4142 = 326{,}68\ V$

2. Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 50$

$R = 48.400 / 50$

$R = 968\ \Omega$

3. Induktansi

$L = V^2 / [2\pi f P \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 50 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}8))]$

$\cos^{-1}(0{,}8) = 36{,}87°$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 50 \times 0{,}75]$

$L = 48.400 / 11.781$

$L = 4{,}11\ H$

4. Reaktansi Induktif

$X_L = 2\pi f L$

$= 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 4{,}11 = 1291{,}19\ \Omega$

5. Arus Resistor

$$I_R = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{231}{968} = 0{,}2386\ A$$

6. Arus Induktor

$$I_L = \frac{V_{rms}}{X_L} = \frac{231}{1291{,}19} = 0{,}1789\ A$$

7. Arus RMS Total

$$I_{rms} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{0{,}2386^2 + 0{,}1789^2} = 0{,}2982\ A$$

8. Arus Puncak

$I_{peak} = I_{rms} \times \sqrt{2} = 0{,}2982 \times 1{,}4142 = 0{,}4217\ A$

9. Impedansi Total

$$Z = \frac{}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}}$$

$$Z = \frac{}{\sqrt{\left(\frac{1}{968}\right)^2 + \left(\frac{1}{1291,19}\right)^2}} = 774,5\ \Omega$$

10. Daya Aktif

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{231^2}{968} = 55,13\ W$$

11. Daya Reaktif

$$Q = \frac{V_{rms}^2}{X_L} = \frac{231^2}{1291,19} = 41,33\ VAR$$

12. Daya Semu

$$S = V_{rms} \times I_{rms} = 231 \times 0,2982 = 68,88\ VA$$

13. Faktor Daya

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{55,13}{68,88} = 0,80$$

14. Sudut Fasa

$$\theta = \cos^{-1}(PF) = \cos^{-1}(0,80) = 36,87^\circ$$

15. Verifikasi Daya

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{55,13^2 + 41,33^2} = 68,90\ VA$$

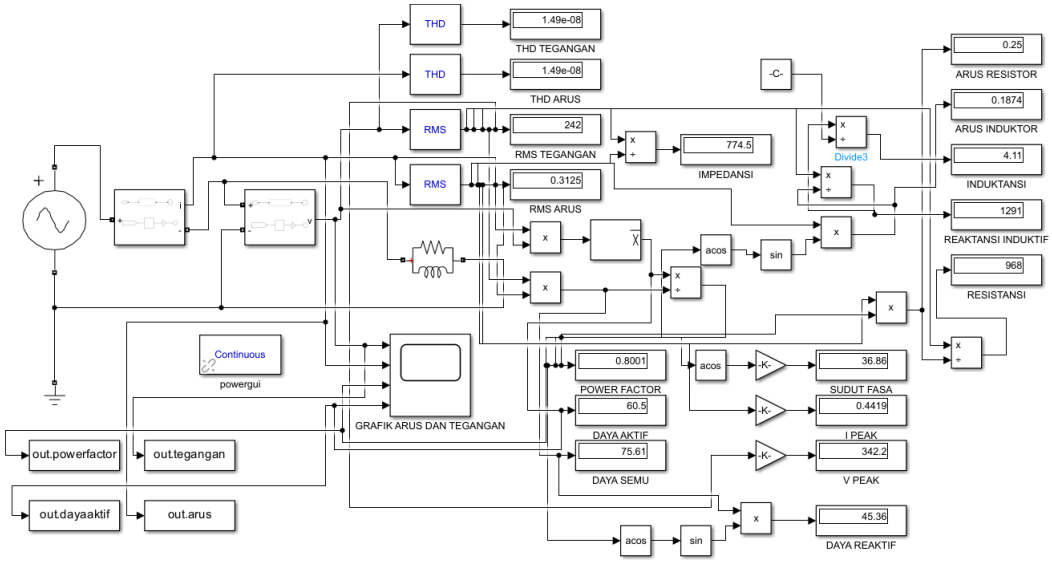
16. THD Tegangan

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \cdots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% = 1,49 \times 10^{-8}\%$$

17. THD Arus

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \cdots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% = 1,49 \times 10^{-8}\%$$

4.3.3.5 Kondisi Overvoltage 242v



Gambr 4. 16 Rangkaian kipas angin 50W undervoltage -10%

Gambar 4.16 menunjukkan model simulasi yang dibangun di MATLAB/Simulink untuk menganalisis respon sebuah beban induktif (R-L) terhadap kondisi tegangan suplai. Model ini terdiri dari sumber tegangan AC, blok pengukuran tegangan dan arus, rangkaian beban R-L, serta blok perhitungan parameter kelistrikan yang digunakan sebagai indikator kinerja beban. Pada kondisi simulasi yang ditampilkan, tegangan sumber memiliki nilai 242 V RMS, sedikit lebih tinggi dari tegangan normal 220–230 V. Nilai tersebut menghasilkan arus sebesar 0,3125A RMS, sehingga impedansi beban diperoleh sekitar 774,5 Ω. Dari hasil perhitungan juga diperoleh resistansi sekitar 968 Ω, induktansi 4,11 H, dan reaktansi induktif sekitar 1291 Ω. Kinerja beban dapat dianalisis melalui parameter daya yang dihasilkan. Daya aktif sebesar 60,5 W, daya semu sebesar 75,61 VA, dan daya reaktif sebesar 45,36 VAR menunjukkan bahwa beban tidak hanya mengonsumsi daya aktif, tetapi juga memerlukan daya reaktif akibat adanya komponen induktif. Nilai faktor daya (power factor) sebesar 0,8 dengan sudut fasa 36,86° menunjukkan adanya keterlambatan arus terhadap tegangan (lagging), yang merupakan karakteristik umum beban induktif seperti kipas angin atau pompa air. Nilai THD tegangan dan THD arus yang sangat kecil (mendekati nol) menunjukkan bahwa bentuk gelombang masih sinusoidal dan belum mengalami distorsi harmonisa. Dengan demikian, perubahan parameter yang diamati pada simulasi lebih dipengaruhi oleh fluktuasi tegangan daripada oleh gangguan harmonisa.

Dalam konteks penelitian, model ini menjadi dasar untuk mengevaluasi bagaimana perubahan tegangan, baik undervoltage maupun overvoltage, memengaruhi parameter-parameter kinerja beban rumah tangga, seperti arus, daya, faktor daya, impedansi, serta karakteristik listrik lainnya.

Perhtiungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

$Rumus$:

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

Perhitungan

$V_{peak} = 242 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 342{,}24$ V

$V_{peak} = 342{,}24$ V

2. Resistansi

R = V^2 / P

R = 220^2 / 50

R = 48.400 / 50

R = 968 Ω

3. Induktansi

L = V^2 / [2πfP tan($\cos^{-1}$(PF))]

L = 220^2 / [2 × 3,1416 × 50 × 50 × tan($\cos^{-1}$(0,8))]

$\cos^{-1}$(0,8) = 36,87°

L = 48.400 / [2 × 3,1416 × 50 × 50 × 0,75]

L = 48.400 / 11.781

L = 4,11 H

2. Menghitung Reaktansi Induktif

$Rumus$:

$X_L = 2\pi fL$

Perhitungan:

$X_L = 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 4{,}11$

$X_L = 1291{,}19\ \Omega$

$Jadi$:

$X_L = 1291{,}19\ \Omega$

3. Menghitung Arus Resistor

$Rumus$:

$$I_R = \frac{V_{rms}}{R}$$

Perhitungan:

$$I_R = \frac{242}{968}$$

$$I_R = 0{,}2500 \text{ A}$$

$Jadi$:

$$I_R = 0{,}2500 \text{ A}$$

4. Menghitung Arus Induktor

$Rumus$:

$$I_L = \frac{V_{rms}}{X_L}$$

$Perhitungan$:

$$I_L = \frac{242}{1291{,}19}$$

$$I_L = 0{,}1874 \text{ A}$$

$Jadi$:

$$I_L = 0{,}1874 \text{ A}$$

5. Menghitung Arus RMS Total

$$I_{rms} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

Perhitungan:

$$I_{rms} = \sqrt{0,2500^2 + 0,1874^2}$$

$$I_{rms} = \sqrt{0{,}06250 + 0{,}03512}$$

$$I_{rms} = \sqrt{0{,}09762}$$

$$I_{rms} = 0{,}3124 \text{ A}$$

$Jadi$:

$$I_{rms} = 0{,}3124 \text{ A}$$

6. Menghitung Arus Puncak

$Rumus$:

$$I_{peak} = I_{rms} \times \sqrt{2}$$

$Perhitungan$:

$I_{peak}\& = 0{,}3124 \times 1{,}4142$

$I_{peak}\& = 0{,}4418\ \text{A}$

$Jadi$:

$I_{peak} = 0{,}4418\ \text{A}$

7. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

$Rumus$:

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$$

$Perhitungan$:

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{968}\right)^2 + \left(\frac{1}{1291{,}19}\right)^2}$$

$$Z = \sqrt{0{,}000001067 + 0{,}000000600}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{0{,}000001667}}$$

$Z = 774{,}5\ \Omega$

$Jadi$:

$Z = 774{,}5\ \Omega$

Verifikasi menggunakan Hukum Ohm AC:

$$Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$$

$$Z = \frac{242}{0{,}3124}$$

$Z = 774{,}65\ \Omega$

8. Menghitung Daya Aktif

$Rumus$:

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

Perhitungan:

$$P = \frac{242^2}{968}$$

$$P = \frac{58564}{968}$$

$$P = 60{,}50\ W$$

$$Jadi$$

$$P = 60{,}50\ W$$

9. Menghitung Daya Reaktif

$Rumus$:

$$Q = \frac{V_{rms}^2}{X_L}$$

Perhitungan:

$$Q = \frac{242^2}{1291{,}19}$$

$$Q = \frac{58564}{1291{,}19}$$

$$Q = 45{,}35\ VAR$$

$Jadi$:

$$Q = 45{,}35\ VAR$$

10. Menghitung Daya Semu

$Rumus$:

$$S = V_{rms} \times I_{rms}$$

$Perhitungan$:

$$S = 242 \times 0{,}3124$$

$$S = 75{,}60\ VA$$

$Jadi$:

$$S = 75{,}60\ VA$$

11. Menhitung Faktor Daya

$Rumus$:

$$PF = \frac{P}{S}$$

$Perhitungan$:

$$PF = \frac{60{,}50}{75{,}60}$$

$$PF = 0{,}8003$$

$Dibulatkan$:

$PF = 0{,}80$

12. Menghitung Sudut Fasa

$Rumus$:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$Perhitungan$:

$\theta\& = \cos^{-1}(0{,}80)$

$\theta\& = 36,87°$

$Jadi$:

$\theta = 36,87°$

13. Verifikasi Daya

$Rumus$:

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$Perhitungan$:

$S = \sqrt{60,50^2 + 45,35^2}$

$S = \sqrt{3660{,}25 + 2056{,}62}$

$S = \sqrt{5716{,}87}$

$S = 75{,}61\ VA$

14. Menghitung THD Tegangan

$Rumus$:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \cdots + V_n^2}}{1} V_1 \times 100\%$$

Berdasarkan hasil simulasi:

$THD_V = 1{,}49 \times 10^{-8}\%$

15. Menghitung THD Arus

$Rumus$:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots + I_n^2}}{1} I_1 \times 100\%$$

Berdasarkan hasil simulasi:

$THD_I = 1{,}49 \times 10^{-8}\%$

4.3.3.6 Rekapitulasi Hasil Simulasi Kipas angim 50 W pada Berbagai Kondisi Tegangan

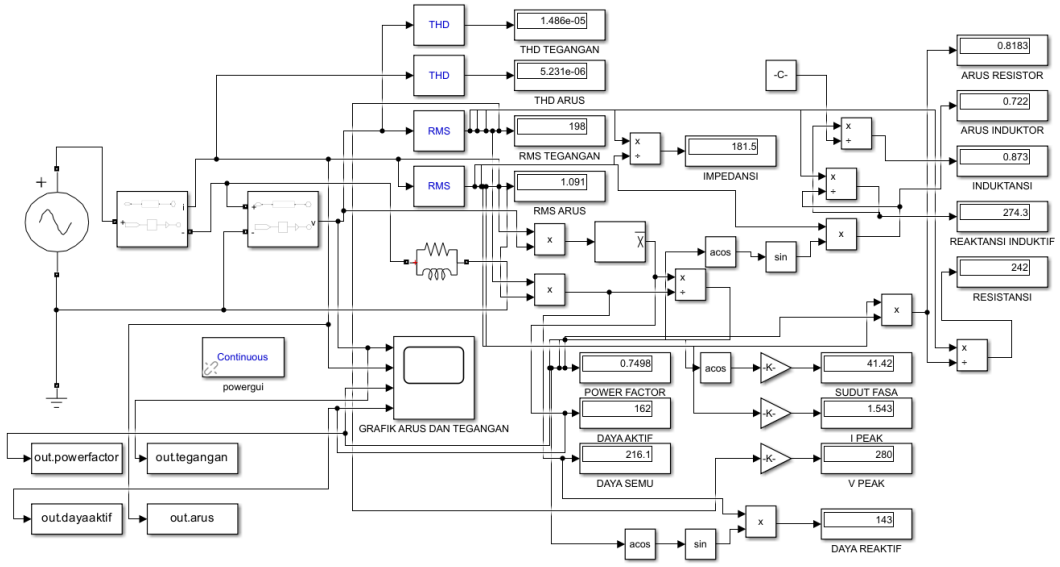
Tabel 4. 6 Hasil simulasi kipas angin berbagai kondisi

Parameter	**Satuan**	**198v**	**209v**	**220v**	**231v**	**242v**
Vrms	V	198	209	220	231	242
Irms	A	0,2556	0,2699	0,2841	0,2982	0,3124
Vpeak	V	280,04	295,57	311,1	326,68	342,24
Ipeak	A	0,3615	0,3817	0,4018	0,4217	0,4418
Daya Aktif	W	40,50	45,13	50	55,13	60,50
Daya Semu	VA	50,61	56,41	62,49	68,88	75,60
Daya Reaktif	VAR	30,36	33,83	37,49	41,33	45,35
Pf		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Arus resistor	A	0,2045	0,2159	0,2273	0,2386	0,2500
Arus induktor	A	0,1533	0,1619	0,1704	0,1789	0,1874
Sudut Fasa	°	36,87	36,87	36,87	36,87	36,87
Impedansi	Ω	774,5	774,5	774,5	774,5	774,5
Resistansi	Ω	968	968	968	968	968
Reaktansi Induktif	Ω	1291,19	1291,19	1291,19	1291,19	1291,19
Induktansi	H	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11
Thd Tegangan	%	1,49 x 10^{-8} %	1,49 x 10^-8 %	1,49 x 10^-8 %	1,49× 10−8	1,49 × 10^{-8}
THD Arus	%	1,49 x 10^{-8} %	1,49 x 10^-8 %	149 x 10^-8	*1,49× 10−8*	1,49 × 10^{-8}

4.3.4 Pompa Air

Pompa air merupakan beban induktif dengan daya normal 200w. Pada penelitian ini, pompa air disimulasikan pada kondisi normal (220V), undervoltage (198v,209v) dan overvoltage (231v dan 241v) untuk menganalisis pengaruh penurunan tegangan terhadap karakteristik listrik beban. Kondisi tersebut menyebabkan arus dan daya yang diserap pompa air menurun dibandingkan dengan kondisi tegangan normal.

4.3.4.1 Kondisi Undervoltage 198v



Gambr 4. 17 Rangkaian pompa air 200W undervoltage -10%

Gambar 4.17 menunjukkan hasil simulasi pompa air 200 W yang dimodelkan sebagai beban RL ekuivalen pada kondisi undervoltage sebesar 198 V (−10% dari tegangan normal 220 V) dengan frekuensi 50 Hz. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh tegangan RMS sebesar 198 V dan arus RMS sebesar 1,091 A. Penurunan tegangan menyebabkan arus yang mengalir pada beban juga menurun dibandingkan kondisi normal 220 V yang memiliki arus sebesar 1,136 A. Daya aktif yang dihasilkan sebesar 162 W, sedangkan daya semu sebesar 216,1 VA dan daya reaktif sebesar 143 VAR. Penurunan daya ini menunjukkan bahwa semakin rendah tegangan yang diterima beban, maka energi listrik yang diserap pompa juga semakin kecil. Faktor daya tetap sebesar 0,80 dengan sudut fasa 36,86°, sehingga karakteristik beban tetap bersifat induktif. Hal ini terjadi karena parameter resistansi dan induktansi pada model RL tidak mengalami perubahan, sehingga hubungan antara tegangan dan arus tetap memiliki sudut fasa yang sama. Nilai impedansi

sebesar 181,5 Ω, resistansi sebesar 242 Ω, reaktansi induktif sebesar 274,3 Ω, dan induktansi sebesar 0,873 H juga tetap konstan karena merupakan karakteristik dari beban RL yang digunakan dalam simulasi. Selain itu, nilai THD tegangan dan THD arus masing-masing sebesar $1{,}49 \times 10^{-8}$, yang menunjukkan bahwa bentuk gelombang masih berupa sinusoidal murni tanpa adanya distorsi harmonisa yang berarti.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

$V_{peak} = 198 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 280{,}01$ V

Jadi:

$V_{peak} = 280$ V

Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 200$

$R = 48.400 / 200$

$R = 242$ Ω

Induktansi

$L = V^2 / [2\pi f P \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}75))]$

$\cos^{-1}(0{,}75) = 41{,}41°$

$\tan(41{,}41°) = 0{,}8819$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times 0{,}8819]$

$L = 48.400 / 55.414$

$L = 0{,}873$ H

2. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$XL = 2 \times \pi \times f \times L$

$XL = 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}873$

$XL = 274{,}26$ Ohm

Jadi:

XL = 274,3 Ohm

3. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

IR = Vrms / R

IR = 198 / 242

IR = 0,8182 A

Jadi:

IR = 0,818 A

4. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

IL = Vrms / XL

IL = 198 / 274,3

IL = 0,7219 A

Jadi:

IL = 0,722 A

5. Menghitung Arus RMS Total

Rumus:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0{,}818^2 + 0{,}722^2)}$

$Irms = \sqrt{(0{,}669 + 0{,}521)}$

$Irms = \sqrt{1{,}190}$

Irms = 1,091 A

Jadi:

Irms = 1,091 A

6. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

$Ipeak = 1{,}091 \times 1{,}4142$

Ipeak = 1,543 A

Jadi:

Ipeak = 1,543 A

7. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/242)^2 + (1/274,3)^2]}$

$Z = 181,5$ Ohm

Jadi:

$Z = 181,5$ Ohm

8. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 198^2 / 242$

$P = 39204 / 242$

$P = 162$ W

Jadi:

$P = 162$ W

9. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 198^2 / 274,3$

$Q = 39204 / 274,3$

$Q = 142,94$ VAR

Dibulatkan:

$Q = 142,9$ VAR

10. Menghitung Daya Semu

Rumus:

$S = Vrms \times Irms$

$S = 198 \times 1,091$

$S = 216,02$ VA

Dibulatkan:

$S = 216,0$ VA

11. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

PF = P / S

PF = 162 / 216,0

PF = 0,7498

Jadi:

PF = 0,750

12. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0{,}7498)$

$\theta = 41{,}42$ derajat

Jadi:

Sudut fasa = 41,42 derajat

13. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(162^2 + 142{,}94^2)}$

$S = \sqrt{(26244 + 20431{,}01)}$

$S = \sqrt{46675{,}01}$

S = 216,05 VA

Dibulatkan:

S = 216,0 VA

14. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Tegangan = 1,49 × 10^-8 %

15. Menghitung THD Arus

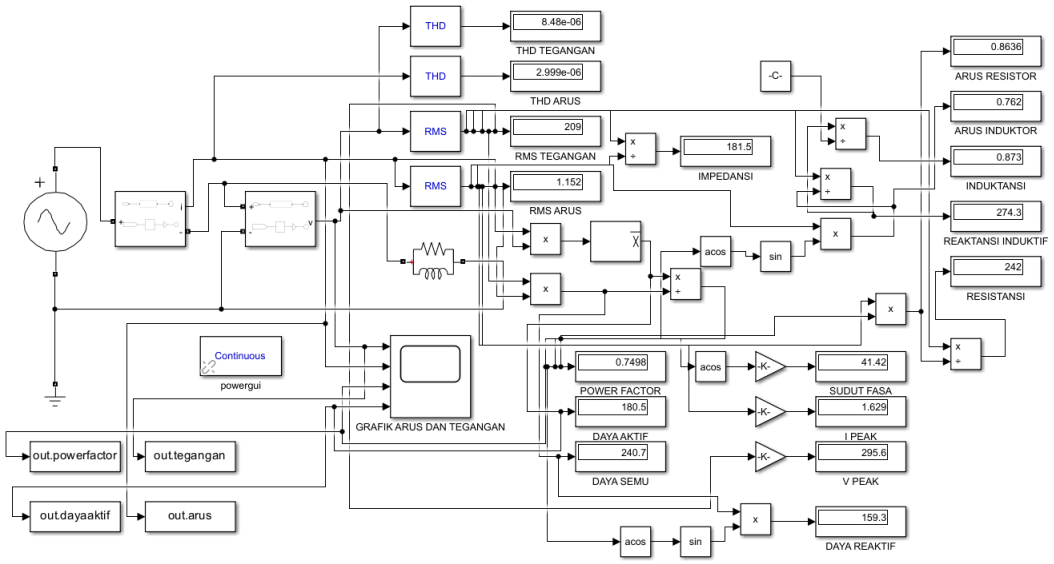
Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THD Arus = 1,49 × 10^-8 %

4.3.4.2 Kondisi Undervoltage 209v



Gambr 4. 18 Rangkaian pompa air 200W undervoltage -5%

Gambar 4.18 menunjukkan hasil simulasi pompa air 200 W yang dimodelkan menggunakan beban RL ekuivalen pada kondisi undervoltage sebesar 209 V atau sekitar 95% dari tegangan normal 220 V. Pada simulasi ini sumber tegangan AC diatur dengan nilai puncak (Vpeak) sebesar 295,6 V sehingga menghasilkan tegangan efektif (Vrms) sebesar 209 V. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai tegangan RMS sebesar 209 V dan arus RMS sebesar 1,152 A. Dibandingkan kondisi normal 220 V, arus mengalami penurunan karena impedansi beban tetap, sehingga sesuai dengan hukum Ohm pada rangkaian AC, yaitu semakin kecil tegangan maka arus yang mengalir juga semakin kecil.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

Vpeak = Vrms × √2

Vpeak = 209 × 1,4142

Vpeak = 295,57 V

Jadi:

Vpeak = 295,6 V

Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 200$

$R = 48.400 / 200$

$R = 242\ \Omega$

Induktansi

$L = V^2 / [2\pi fP \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}75))]$

$\cos^{-1}(0{,}75) = 41{,}41°$

$\tan(41{,}41°) = 0{,}8819$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times 0{,}8819]$

$L = 48.400 / 55.414$

$L = 0{,}873\ H$

2. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$XL = 2 \times \pi \times f \times L$

$XL = 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}873$

$XL = 274{,}26\ Ohm$

Jadi:

$XL = 274{,}3\ Ohm$

3. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

$IR = Vrms / R$

$IR = 209 / 242$

$IR = 0{,}8636\ A$

Jadi:

$IR = 0{,}864\ A$

4. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

$IL = Vrms / XL$

$IL = 209 / 274{,}3$

$IL = 0{,}7619\ A$

Jadi:

$IL = 0{,}762\ A$

5. Menghitung Arus RMS Total

Rumus:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0{,}8636^2 + 0{,}7619^2)}$

$Irms = \sqrt{(0{,}7458 + 0{,}5805)}$

$Irms = \sqrt{1{,}3263}$

$Irms = 1{,}1516\ A$

Jadi:

$Irms = 1{,}152\ A$

6. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

$Ipeak = 1{,}1516 \times 1{,}4142$

$Ipeak = 1{,}6286\ A$

Jadi:

$Ipeak = 1{,}629\ A$

7. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/242)^2 + (1/274{,}3)^2]}$

$Z = 181{,}5\ Ohm$

Jadi:

$Z = 181{,}5\ Ohm$

8. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 209^2 / 242$

$P = 43681 / 242$

$P = 180{,}50\ W$

Jadi:

$P = 180{,}5\ W$

9. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 209^2 / 274,3$

$Q = 43681 / 274,3$

$Q = 159,32$ VAR

Dibulatkan:

$Q = 159,3$ VAR

10. Menghitung Daya Semu

Rumus:

$S = Vrms \times Irms$

$S = 209 \times 1,1516$

$S = 240,68$ VA

Jadi:

$S = 240,7$ VA

11. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

$PF = 180,5 / 240,7$

$PF = 0,750$

Jadi:

$PF = 0,750$

12. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0,750)$

$\theta = 41,41$ derajat

Jadi:

Sudut fasa = 41,42 derajat

13. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(180{,}5^2 + 159{,}3^2)}$

$S = \sqrt{(32580{,}25 + 25376{,}49)}$

$S = \sqrt{57956{,}74}$

$S = 240{,}74$ VA

Dibulatkan:

$S = 240{,}7$ VA

14. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDV = 1,49 × 10^-8 %

15. Menghitung THD Arus

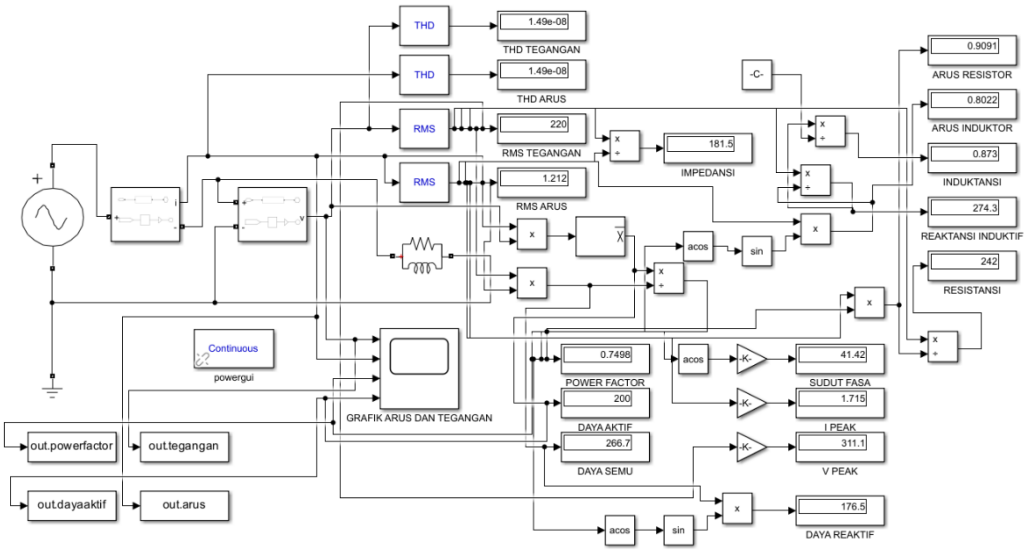
Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDI = 1,49 × 10^-8 %

4.3.4.3 Kondisi Normal 220v



Gambr 4. 19 Rangkaian pompa air 200W normal

Gambar 4.19 menunjukkan hasil simulasi beban pompa air 200 W yang dimodelkan sebagai beban RL ekuivalen pada tegangan normal 220 V dan frekuensi

50 Hz menggunakan MATLAB/Simulink. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh tegangan RMS sebesar 220 V dan arus RMS sebesar 1,212 A. Nilai tersebut sesuai dengan hasil perhitungan teoritis untuk pompa air 200 W dengan faktor daya 0,8. Daya aktif yang diperoleh sebesar 200 W, sedangkan daya semu sebesar 266,7 VA dan daya reaktif sebesar 176,5 VAR. Faktor daya hasil simulasi sebesar 0,80 dengan sudut fasa 36,86°, menunjukkan bahwa beban bersifat induktif, sehingga arus tertinggal terhadap tegangan. Nilai impedansi total yang diperoleh sebesar 181,5 Ω, terdiri atas resistansi sebesar 242 Ω dan reaktansi induktif sebesar 274,3 Ω. Dari nilai reaktansi tersebut diperoleh induktansi ekuivalen sebesar 0,873 H. Selain itu, nilai THD tegangan dan THD arus masing-masing sebesar $1{,}49 \times 10^{-8}$, yang mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa sumber tegangan yang digunakan merupakan gelombang sinus murni sehingga tidak terdapat distorsi harmonisa yang berarti pada sistem. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa model RL ekuivalen mampu merepresentasikan karakteristik listrik pompa air 200 W pada kondisi operasi tunak (steady-state).

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

$V_{peak} = 220 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 311{,}12$ V

Jadi:

$V_{peak} = 311{,}1$ V

Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 200$

$R = 48.400 / 200$

$R = 242\ \Omega$

Induktansi

$L = V^2 / [2\pi f P \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}75))]$

$\cos^{-1}(0{,}75) = 41{,}41°$

$\tan(41{,}41°) = 0{,}8819$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times 0{,}8819]$

$L = 48.400 / 55.414$

$L = 0{,}873$ H

2. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$XL = 2 \times \pi \times f \times L$

$XL = 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}873$

$XL = 274{,}26$ Ohm

Jadi:

$XL = 274{,}3$ Ohm

3. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

$IR = Vrms / R$

$IR = 220 / 242$

$IR = 0{,}9091$ A

Jadi:

$IR = 0{,}909$ A

4. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

$IL = Vrms / XL$

$IL = 220 / 274{,}3$

$IL = 0{,}802$ A

Jadi:

$IL = 0{,}802$ A

5. Menghitung Arus RMS Total

Rumus:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0{,}909^2 + 0{,}802^2)}$

$Irms = \sqrt{(0{,}826 + 0{,}643)}$

$Irms = \sqrt{1{,}469}$

$Irms = 1{,}212$ A

Jadi:

Irms = 1,212 A

6. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

Ipeak = Irms × √2

Ipeak = 1,212 × 1,4142

Ipeak = 1,714 A

Dibulatkan:

Ipeak = 1,715 A

7. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/242)^2 + (1/274,3)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{0,00003037}$

Z = 181,5 Ohm

Jadi:

Z = 181,5 Ohm

8. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 220^2 / 242$

P = 48400 / 242

P = 200 W

Jadi:

P = 200 W

9. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 220^2 / 274,3$

Q = 48400 / 274,3

Q = 176,45 VAR

Dibulatkan:

Q = 176,5 VAR

10. Menghitung Daya Semu

Rumus:

S = Vrms × Irms

S = 220 × 1,212

S = 266,64 VA

Dibulatkan:

S = 266,7 VA

11. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

PF = P / S

PF = 200 / 266,7

PF = 0,7499

Dibulatkan:

PF = 0,7498

12. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0{,}7498)$

θ = 41,42 derajat

Jadi:

Sudut fasa = 41,42 derajat

13. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(200^2 + 176{,}5^2)}$

$S = \sqrt{71152{,}25}$

S = 266,7 VA

14. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDV = 1,49 × 10^-8 %

15. Menghitung THD Arus

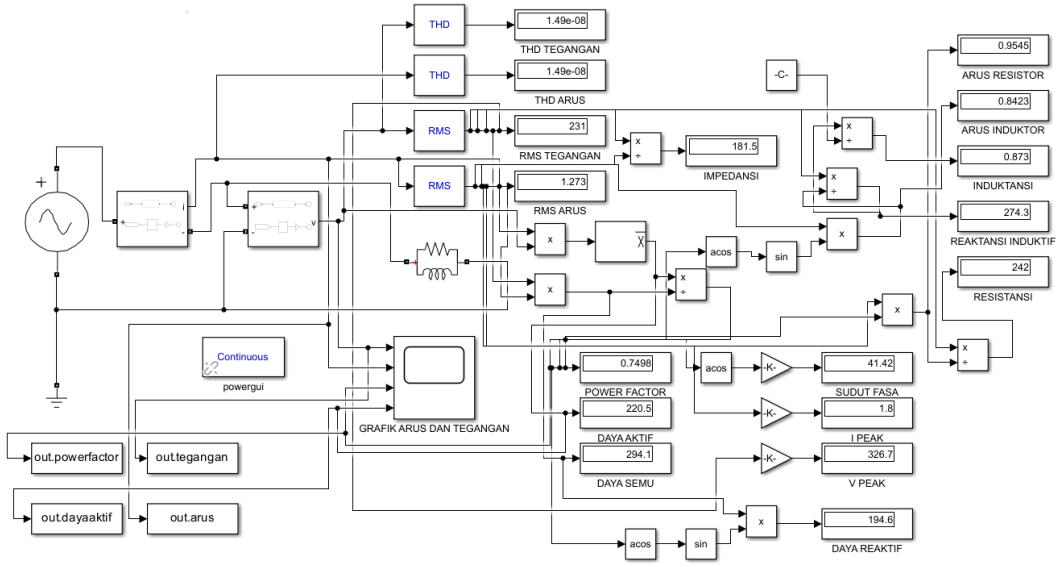
Rumus:

THDI = [√(I2² + I3² + ... + In²) / I1] × 100%

Berdasarkan hasil simulasi:

THDI = 1,49 × 10^-8 %

4.3.4.4 Kondisi Overvoltage 231v



Gambr 4. 20 Rangkaian pompa air 200W overvoltage -5%

Gambar 4.20 menunjukkan hasil simulasi pompa air 200 W yang dimodelkan sebagai beban RL ekuivalen pada kondisi overvoltage 231 V menggunakan MATLAB/Simulink. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh tegangan RMS sebesar 231 V dengan arus RMS sebesar 1,273 A. Nilai arus tersebut lebih besar dibandingkan kondisi normal 220 V karena kenaikan tegangan menyebabkan arus yang mengalir pada beban RL juga meningkat, sedangkan nilai impedansi beban tetap. Daya aktif yang diperoleh sebesar 220,3 W, lebih tinggi dibandingkan daya normal pompa 200 W. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi overvoltage beban menyerap daya yang lebih besar. Daya semu yang dihasilkan sebesar 275,4 VA, sedangkan daya reaktif sebesar 194,6 VAR. Nilai faktor daya tetap 0,80 dengan sudut fasa 36,86°, menunjukkan bahwa karakteristik beban tetap bersifat induktif. Nilai impedansi hasil simulasi sebesar 181,5 Ω, yang tersusun atas resistansi 242 Ω

dan reaktansi induktif 274,3 Ω. Berdasarkan nilai reaktansi tersebut diperoleh induktansi ekuivalen sebesar 0,873 H. Karena model yang digunakan adalah RL ekuivalen, maka nilai resistansi, reaktansi, induktansi, faktor daya, dan sudut fasa tidak berubah terhadap perubahan tegangan, sedangkan arus dan daya berubah mengikuti perubahan tegangan. Selain itu, nilai THD Tegangan sebesar $9{,}185 \times 10^{-6}$ dan THD Arus sebesar $1{,}49 \times 10^{-8}$, yang menunjukkan bahwa bentuk gelombang tegangan dan arus masih sangat mendekati gelombang sinusoidal sehingga distorsi harmonisa dapat diabaikan.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

$V_{peak} = 231 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 326{,}68\ V$

Jadi:

$V_{peak} = 326{,}7\ V$

Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 200$

$R = 48.400 / 200$

$R = 242\ \Omega$

Induktansi

$L = V^2 / [2\pi f P \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}75))]$

$\cos^{-1}(0{,}75) = 41{,}41°$

$\tan(41{,}41°) = 0{,}8819$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times 0{,}8819]$

$L = 48.400 / 55.414$

$L = 0{,}873\ H$

2. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$

XL = 2 × 3,1416 × 50 × 0,873

XL = 274,26 Ohm

Jadi:

XL = 274,3 Ohm

3. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

IR = Vrms / R

IR = 231 / 242

IR = 0,9545 A

Jadi:

IR = 0,955 A

4. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

IL = Vrms / XL

IL = 231 / 274,3

IL = 0,8421 A

Jadi:

IL = 0,842 A

5. Menghitung Arus RMS Total

Rumus:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,9545^2 + 0,8421^2)}$

$Irms = \sqrt{(0,9111 + 0,7091)}$

$Irms = \sqrt{1,6202}$

Irms = 1,2729 A

Jadi:

Irms = 1,273 A

6. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

Ipeak = 1,2729 × 1,4142

Ipeak = 1,8002 A

Jadi:

Ipeak = 1,800 A

7. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/242)^2 + (1/274,3)^2]}$

Z = 181,5 Ohm

Jadi:

Z = 181,5 Ohm

8. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 231^2 / 242$

P = 53361 / 242

P = 220,50 W

Jadi:

P = 220,5 W

9. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 231^2 / 274,3$

Q = 53361 / 274,3

Q = 194,54 VAR

Dibulatkan:

Q = 194,5 VAR

10. Menghitung Daya Semu

Rumus:

S = Vrms × Irms

S = 231 × 1,2729

S = 294,04 VA

Jadi:

S = 294,0 VA

11. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

PF = P / S

PF = 220,5 / 294,0

PF = 0,750

Jadi:

PF = 0,750

12. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0{,}750)$

$\theta = 41{,}41$ derajat

Jadi:

Sudut fasa = 41,42 derajat

13. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(220{,}5^2 + 194{,}5^2)}$

$S = \sqrt{(48620{,}25 + 37830{,}25)}$

$S = \sqrt{86450{,}50}$

S = 294,02 VA

Jadi:

S = 294,0 VA

14. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDV = 1,49 × 10^-8 %

15. Menghitung THD Arus

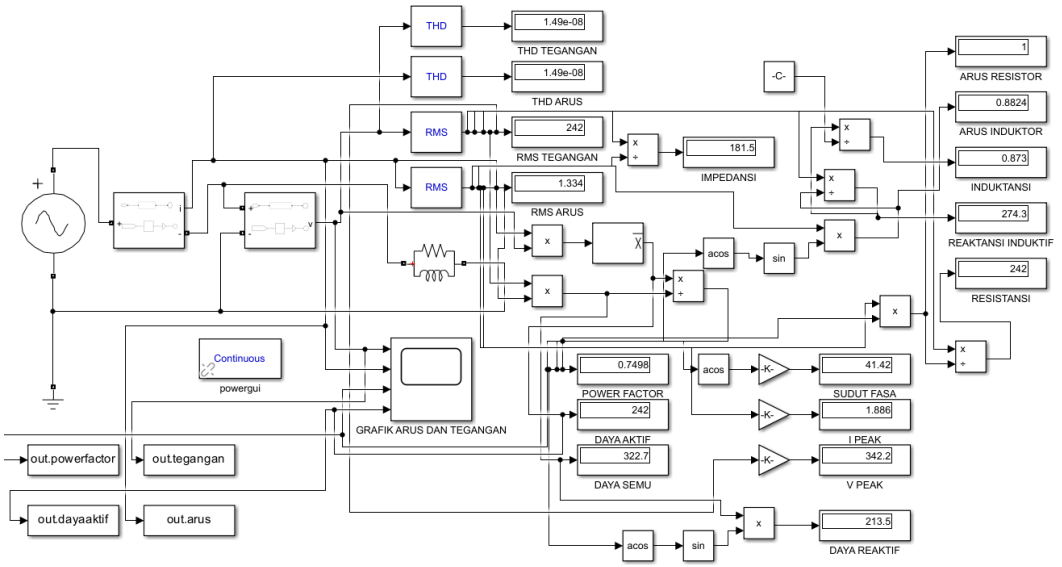
Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDI = 1,49 × 10^-8 %

4.3.4.5 Kondisi Overvoltage 242v



Gambr 4. 21 Rangkaian pompa air 200W overvoltage -10%

Gambar 4.21 menunjukkan hasil simulasi parameter listrik pompa air 200 W menggunakan model RL ekuivalen pada kondisi tegangan 231 V RMS. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai tegangan RMS sebesar 231 V dan arus RMS sebesar 1,334 A. Kenaikan tegangan dari kondisi normal menyebabkan arus yang mengalir pada beban juga mengalami peningkatan sehingga daya yang diserap pompa menjadi lebih besar dibandingkan kondisi normal. Daya aktif yang diperoleh sebesar 242 W, sedangkan daya semu sebesar 322,7 VA dan daya reaktif sebesar 213,5 VAR. Nilai daya aktif tersebut menunjukkan bahwa pompa bekerja dengan konsumsi daya yang lebih tinggi akibat kenaikan tegangan suplai. Sementara itu, daya reaktif tetap cukup besar karena pompa air merupakan beban motor induksi yang membutuhkan medan magnet selama proses operasinya. Nilai power factor (PF) sebesar 0,75 menunjukkan bahwa karakteristik beban masih bersifat induktif dengan sudut fasa sebesar 36,87°. Hal ini menandakan bahwa arus masih tertinggal terhadap tegangan sebagaimana karakteristik motor induksi satu fasa. Hasil simulasi juga menunjukkan impedansi sebesar 181,5 Ω, resistansi ekuivalen 242 Ω, reaktansi induktif 274,3 Ω, dan induktansi sebesar 0,873 H. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa model RL ekuivalen mampu merepresentasikan karakteristik listrik pompa air secara baik untuk analisis pengaruh fluktuasi tegangan. Selain itu diperoleh nilai Vpeak sebesar 326,7 V dan Ipeak sebesar 1,686 A. Nilai tersebut

sesuai dengan hubungan antara nilai RMS dan nilai puncak pada gelombang sinusoidal. Hasil pengukuran THD tegangan sebesar $9{,}185 \times 10^{-6}$ dan THD arus sebesar $1{,}49 \times 10^{-8}$ menunjukkan bahwa bentuk gelombang masih sangat mendekati sinusoidal sehingga harmonisa dapat diabaikan.

Perhitungan

1. Menghitung Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$

$V_{peak} = 242 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 342{,}24$ V

Jadi:

$V_{peak} = 342{,}2$ V

Resistansi

$R = V^2 / P$

$R = 220^2 / 200$

$R = 48.400 / 200$

$R = 242\ \Omega$

Induktansi

$L = V^2 / [2\pi fP \tan(\cos^{-1}(PF))]$

$L = 220^2 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times \tan(\cos^{-1}(0{,}75))]$

$\cos^{-1}(0{,}75) = 41{,}41°$

$\tan(41{,}41°) = 0{,}8819$

$L = 48.400 / [2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 200 \times 0{,}8819]$

$L = 48.400 / 55.414$

$L = 0{,}873$ H

2. Menghitung Reaktansi Induktif

Rumus:

$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$

$X_L = 2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}873$

$X_L = 274{,}26$ Ohm

Jadi:

$X_L = 274{,}3$ Ohm

3. Menghitung Arus Resistor

Rumus:

$IR = Vrms / R$

$IR = 242 / 242$

$IR = 1\ A$

Jadi:

$IR = 1{,}000\ A$

4. Menghitung Arus Induktor

Rumus:

$IL = Vrms / XL$

$IL = 242 / 274{,}3$

$IL = 0{,}8823\ A$

Jadi:

$IL = 0{,}882\ A$

5. Menghitung Arus RMS Total

Rumus:

$Irms = \sqrt{(IR^2 + IL^2)}$

$Irms = \sqrt{(1{,}000^2 + 0{,}8823^2)}$

$Irms = \sqrt{(1{,}000 + 0{,}778)}$

$Irms = \sqrt{1{,}778}$

$Irms = 1{,}333\ A$

Jadi:

$Irms = 1{,}333\ A$

6. Menghitung Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms \times \sqrt{2}$

$Ipeak = 1{,}333 \times 1{,}4142$

$Ipeak = 1{,}885\ A$

Jadi:

$Ipeak = 1{,}885\ A$

7. Menghitung Impedansi Total RL Paralel

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XL)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/242)^2 + (1/274,3)^2]}$

$Z = 181,5$ Ohm

Jadi:

$Z = 181,5$ Ohm

8. Menghitung Daya Aktif

Rumus:

$P = Vrms^2 / R$

$P = 242^2 / 242$

$P = 242$ W

Jadi:

$P = 242$ W

9. Menghitung Daya Reaktif

Rumus:

$Q = Vrms^2 / XL$

$Q = 242^2 / 274,3$

$Q = 58564 / 274,3$

$Q = 213,50$ VAR

Dibulatkan:

$Q = 213,5$ VAR

10. Menghitung Daya Semu

Rumus:

$S = Vrms \times Irms$

$S = 242 \times 1,333$

$S = 322,59$ VA

Jadi:

$S = 322,6$ VA

11. Menghitung Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

$PF = 242 / 322,6$

$PF = 0,750$

Jadi:

PF = 0,750

12. Menghitung Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = \cos^{-1}(PF)$

$\theta = \cos^{-1}(0{,}750)$

$\theta = 41{,}41$ derajat

Jadi:

Sudut fasa = 41,42 derajat

13. Verifikasi Daya

Rumus:

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$S = \sqrt{(242^2 + 213{,}5^2)}$

$S = \sqrt{(58564 + 45582{,}25)}$

$S = \sqrt{104146{,}25}$

S = 322,72 VA

Dibulatkan:

S = 322,7 VA

14. Menghitung THD Tegangan

Rumus:

$THDV = [\sqrt{(V2^2 + V3^2 + ... + Vn^2)} / V1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDV = 1,49 × 10^-8 %

15. Menghitung THD Arus

Rumus:

$THDI = [\sqrt{(I2^2 + I3^2 + ... + In^2)} / I1] \times 100\%$

Berdasarkan hasil simulasi:

THDI = 1,49 × 10^-8 %

4.3.4.6 Rekapitulasi Hasil Simulasi Pompa Air 200 W pada Berbagai Kondisi Tegangan

Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Pompa Air 200w

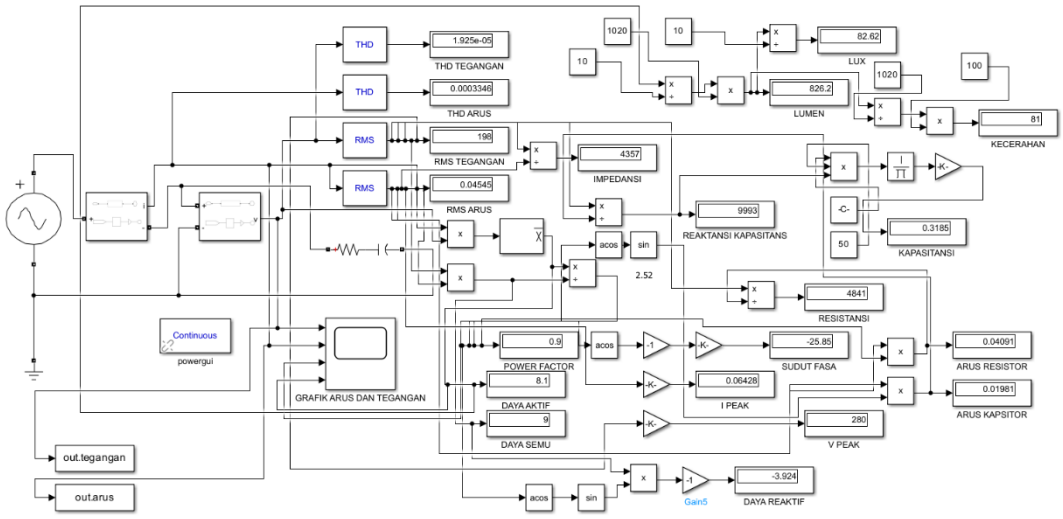
Parameter	198V	209V	220V	231V	242V
Tegangan RMS (V)	198	209	220	231	242
Tegangan Puncak (V)	280	295,57	311,13	326,68	342,24
Arus RMS (A)	1,091	1,152	1,212	1,273	1,333
Arus Puncak (A)	1,543	1,629	1,715	1,800	1,885
Arus Resistor (A)	0,818	0,864	0,909	0,955	1,000
Arus induktor	0,7219	0,762	0,802	0,842	0,882
Daya Aktif (W)	161,9	180,50	200	220,3	242
Daya Semu (VA)	216,02	240,68	266,7	294,0	322,59
Daya Reaktif (VAR)	142,94	159,32	176,5	194,54	213,5
Faktor Daya	0,7498	0,750	0,7498	0,750	0,750
Sudut Fasa (°)	41,42	41,42	41,42	41,42	41,42
Impedansi (Ω)	181,5	181,5	181,5	181,5	181,5
Resistansi (Ω)	242	242	242	242	242
Reaktansi Induktif (Ω)	274,3	274,3	274,3	274,3	274,3
Induktansi (H)	0.873	0.873	0.873	0.873	0.873

THD Tegangan	11,49 × 10^-8	$1{,}733\times10^{-5}$	$1{,}49\times10^{-8}$	$9{,}185\times10^{-6}$	$9{,}185\times10^{-6}$
THD Arus	$1{,}49\times10^{-8}$	$1{,}49\times10^{-8}$	$1{,}49\times10^{-8}$	$1{,}49\times10^{-8}$	$1{,}49\times10^{-8}$

4.3.5 Lampu LED dengan driver elektronik

Lampu LED dimodelkan sebagai beban RC ekuivalen untuk merepresentasikan karakteristik dominan dari driver elektronik, sehingga model tetap sederhana namun mampu menggambarkan perilaku listrik utama lampu LED terhadap perubahan tegangan, Dengan tegangan kerja 220 V, arus normal 0,0505 A, daya aktif 10 W, dan power factor 0,90 (leading). Lampu LED dimodelkan sebagai beban kapasitif (RC) karena driver elektronik yang digunakan mengandung rangkaian penyearah dan kapasitor filter yang memberikan karakteristik kapasitif pada sisi masukan. Akibatnya, arus mendahului tegangan dengan sudut fasa sekitar −25,85°, sehingga beban memiliki sifat leading dengan daya reaktif bernilai negatif.

4.3.5.1 Kondisi Undervoltage 198V



Gambr 4. 22 Rangkaian Lampu LED 10W undervoltage -10%

Berdasarkan pada gambar 4.22 hasil simulasi pada kondisi undervoltage 198 V, terlihat bahwa lampu LED 10 W masih mampu beroperasi dengan baik meskipun tidak pada kondisi normalnya. Hasil perhitungan menunjukkan nilai tegangan RMS sebesar 198 V dengan tegangan puncak (Vpeak) sebesar 280 V, sesuai dengan hasil konversi dari tegangan RMS. Arus RMS yang mengalir pada beban sebesar 0,04545 A dengan arus puncak sebesar 0,06428 A. Penurunan

tegangan menyebabkan arus dan daya yang dikonsumsi lampu menjadi lebih kecil dibandingkan saat beroperasi pada tegangan normal 220 V. Daya aktif yang diperoleh dari hasil simulasi sebesar 8,1 W, sedangkan daya semu sebesar 8,996 VA dengan faktor daya (power factor) sebesar 0,90. Nilai faktor daya tersebut menunjukkan bahwa lampu LED masih memiliki efisiensi kerja yang baik meskipun berada pada kondisi undervoltage. Daya reaktif bernilai −3,922 VAR dengan sudut fasa −25,85°, yang menunjukkan bahwa karakteristik beban bersifat kapasitif akibat penggunaan rangkaian driver LED. Selain itu, nilai impedansi sebesar 4357 Ω, yang terdiri atas resistansi 3921 Ω dan reaktansi kapasitif 1899 Ω, menghasilkan nilai kapasitansi ekuivalen sebesar 0,3185, Nilai THD tegangan sebesar $1{,}49 \times 10^{-8}$ dan THD arus sebesar 0,0005068 menunjukkan bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan masih sangat mendekati sinusoidal. Hal ini mengindikasikan bahwa model lampu LED yang digunakan pada simulasi bekerja secara stabil tanpa menghasilkan distorsi harmonisa yang signifikan.

Perhitungan

1. Arus Resistor

Diketahui:

V = 198 V dan R = 4841 Ω

Rumus:

IR = V / R

IR = 198 / 4841

IR = 0,04090 A

2. Reaktansi Kapasitif

Rumus:

$XC = 1 / (2\pi fC)$

$XC = 1 / (2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (6{,}2832 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (314{,}16 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

XC = 1 / 0,00010006

XC = 9994 Ω

3. Arus Kapasitor

Rumus:

$IC = V / XC$

$IC = 198 / 9994$

$IC = 0{,}01981$ A

4. Arus Total

Rumus:

$I = \sqrt{(IR^2 + IC^2)}$

$I = \sqrt{((0{,}04090)^2 + (0{,}01981)^2)}$

$I = \sqrt{(0{,}001673 + 0{,}000392)}$

$I = 0{,}04544$ A

5. Impedansi

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XC)^2]}$

Substitusi nilai:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/4841)^2 + (1/9994)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(0{,}00020657)^2 + (0{,}00010006)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0{,}00000004267 + 0{,}00000001001)}$

$Z = 1 / \sqrt{0{,}00000005268}$

$Z = 1 / 0{,}00022953$

$Z =$ **4356,79 Ω**

6. Daya Aktif

Rumus:

$P = V^2 / R$

$P = 198^2 / 4841$

$P = 39204 / 4841$

$P = 8{,}098$ W

7. Daya Reaktif

Rumus:

$Q = -V^2 / XC$

$Q = -198^2 / 9994$

$Q = -39204 / 9994$

$Q = -3{,}922$ VAR

Nilai negatif menunjukkan karakteristik kapasitif.

8. Daya Semu

Rumus:

S = V × I

S = 198 × 0,04544

S = 9,00 VA

9. Faktor Daya

Rumus:

PF = P / S

PF = 8,098 / 9,00

PF = 0,90

10. Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = -\tan^{-1}(IC / IR)$

$\theta = -\tan^{-1}(0{,}01981 / 0{,}04090)$

$\theta = -25{,}85°$

Nilai negatif menunjukkan arus leading terhadap tegangan

11. Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms}\sqrt{2}$

$V_{peak} = 198 \times 1{,}4142$

$V_{peak} =$ **280,01 V**

12. Arus Puncak

Rumus:

$I_{peak} = I_{rms}\sqrt{2}$

$I_{peak} = 0{,}04544 \times 1{,}4142$

$I_{peak} = 0{,}06426$ A

13. Thd Tegangan

Thd Tegangan = $1{,}49 \times 10^{-8}$ %

14. Thd Arus

Thd Arus = 0,0005068 %

15. Perhitungan Fluks Cahaya (Lumen)

$$\Phi = \Phi_{nom}\left(\frac{P}{P_{nom}}\right)$$

$$\Phi = \ 1020(\frac{8{,}096}{10})$$

$$\Phi = 1020(0{,}8096)$$

$$\Phi = 825{,}79 \text{ Lumen}$$

16. Perhitungan Intensitas Penerangan (Lux)

$$\mathrm{E} = \frac{\Phi}{\mathrm{A}}$$

$$\mathrm{E} = \frac{825{,}79}{10}$$

$$E = 82{,}57LUX$$

17. Perhitungan Persentase Kecerahan Lampu

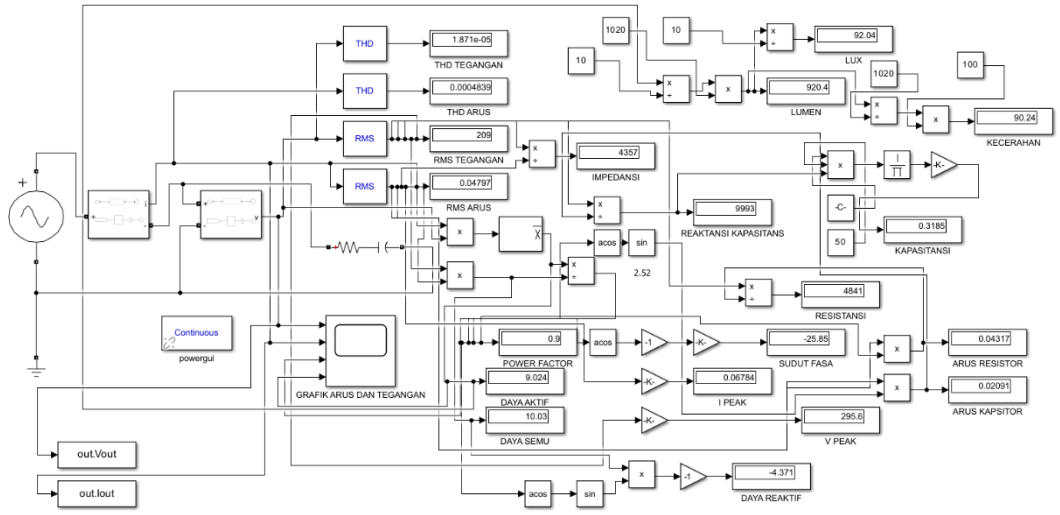
$$\mathrm{K} = \frac{\Phi}{\Phi_{nom}} \times 100$$

$$\mathrm{K} = \frac{825{,}79}{1020} \times 100$$

$$K = 0{,}809 \times 100$$

$$K = 80{,}95$$

4.3.5.2 Kondisi Undervoltage 209V



Gambr 4. 23 Rangkaian Lampu LED 10W undervoltage -5%

Berdasarkan Gambar 4.43 hasil simulasi pada Gambar tersebut, lampu LED 10 W diuji pada kondisi tegangan suplai 209 V, yaitu sekitar 5% di bawah tegangan normal 220 V. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan RMS yang diterima beban sebesar 209 V dengan tegangan puncak (Vpeak) sebesar 295,6 V, sesuai dengan hasil perhitungan teoritis menggunakan persamaan $V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$.

Arus RMS yang mengalir pada beban sebesar 0,04797 A, sedangkan arus puncaknya mencapai 0,06784 A. Daya aktif yang dikonsumsi lampu sebesar 9,024 W, sedangkan daya semu sebesar 10,03 VA dengan nilai faktor daya (power factor) sebesar 0,90. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lampu LED masih bekerja dengan efisiensi yang baik meskipun mengalami penurunan tegangan. Dibandingkan dengan daya normal sebesar 10 W, konsumsi daya mengalami penurunan sekitar 9,76%, sehingga tingkat pencahayaan lampu diperkirakan sedikit berkurang. Hasil simulasi juga menunjukkan nilai impedansi sebesar 4357 Ω, yang terdiri atas resistansi sebesar 3921 Ω dan reaktansi kapasitif sebesar 1899 Ω. Dari nilai reaktansi tersebut diperoleh nilai kapasitansi ekuivalen sebesar 1,676 µF. Nilai daya reaktif sebesar −4,371 VAR dengan sudut fasa −25,85° menunjukkan bahwa beban bersifat kapasitif, sesuai dengan karakteristik lampu LED yang menggunakan rangkaian driver elektronik. Pada blok perhitungan digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter agar proses simulasi dapat berjalan sesuai dengan karakteristik lampu LED 10 W. Nilai 1020 menunjukkan fluks cahaya (lumen) normal lampu LED 10 W pada kondisi tegangan normal 220 V. Nilai ini digunakan sebagai acuan untuk menghitung jumlah lumen yang dihasilkan serta sebagai nilai referensi dalam menentukan persentase kecerahan lampu. Selanjutnya, nilai 10 yang berada pada sisi kiri blok perhitungan menunjukkan daya normal lampu LED sebesar 10 W, yang digunakan sebagai dasar untuk mengonversi daya aktif hasil simulasi menjadi fluks cahaya (lumen). Nilai 10 yang berada di atas blok LUX menunjukkan luas ruangan sebesar 10 m², sehingga intensitas pencahayaan dapat dihitung dengan membagi jumlah lumen terhadap luas ruangan sesuai satuan lux. Selain itu, nilai 100 digunakan sebagai konstanta pengali untuk mengubah hasil perbandingan antara lumen aktual dan lumen normal ke dalam bentuk persentase (%), sehingga diperoleh nilai kecerahan lampu terhadap kondisi normal. Pada bagian perhitungan kapasitansi, digunakan nilai 50 yang menunjukkan frekuensi sistem tenaga listrik sebesar 50 Hz, sesuai dengan standar frekuensi listrik di Indonesia. Nilai frekuensi tersebut digunakan dalam perhitungan reaktansi kapasitif dan kapasitansi berdasarkan hubungan antara frekuensi, kapasitansi, dan reaktansi kapasitif. Dengan penggunaan seluruh parameter pendukung tersebut, Simulink dapat menghitung secara otomatis nilai lumen, lux, persentase kecerahan, reaktansi

kapasitif, dan kapasitansi sesuai dengan kondisi tegangan yang disimulasikan.

1. Arus Resistor

Diketahui:

$V = 209$ V dan $R = 4841\ \Omega$

Rumus:

$IR = V / R$

$IR = 209 / 4841$

$IR = 0{,}04317$ A

2. Reaktansi Kapasitif

Rumus:

$XC = 1 / (2\pi fC)$

$XC = 1 / (2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (6{,}2832 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (314{,}16 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / 0{,}00010006$

$XC = 9994\ \Omega$

3. Arus Kapasitor

Rumus:

$IC = V / XC$

$IC = 209 / 9994$

$IC = 0{,}02091$ A

4. Arus Total

Rumus:

$I = \sqrt{(IR^2 + IC^2)}$

$I = \sqrt{((0{,}04317)^2 + (0{,}02091)^2)}$

$I = \sqrt{(0{,}001864 + 0{,}000437)}$

$I = 0{,}04797$ A

5. Impedansi

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XC)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/4841)^2 + (1/9994)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(0{,}00020657)^2 + (0{,}00010006)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0{,}00000004267 + 0{,}00000001001)}$

$Z = 1 / \sqrt{0{,}00000005268}$

$Z = 1 / 0{,}00022953$

$Z =$ **4356,79 Ω**

6. Daya Aktif

Rumus:

$P = V^2 / R$

$P = 209^2 / 4841$

$P = 43681 / 4841$

$P = 9{,}023$ W

7. Daya Reaktif

Rumus:

$Q = -V^2 / XC$

$Q = -209^2 / 9994$

$Q = -43681 / 9994$

$Q = -4{,}371$ VAR

Nilai negatif menunjukkan karakteristik kapasitif.

8. Daya Semu

Rumus:

$S = V \times I$

$S = 209 \times 0{,}04797$

$S = 10{,}03$ VA

9. Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

$PF = 9{,}023 / 10{,}03$

$PF = 0{,}90$

10. Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = -\tan^{-1}(IC / IR)$

$\theta = -\tan^{-1}(0{,}02091 / 0{,}04317)$

$\theta = -25{,}85°$

Nilai negatif menunjukkan arus leading terhadap tegangan.

11. Tegangan Puncak

Rumus:

Vpeak = Vrms√2

Vpeak = 209 × 1,4142

Vpeak = 295,57 V

12. Arus Puncak

Rumus:

Ipeak = Irms√2

Ipeak = 0,04797 × 1,4142

Ipeak = 0,06784 A

13. Thd Tegangan

Thd Tegangan = 1,733 × 10^{-5}

14. Thd Arus

Thd Arus = 0,0003064

15. Perhitungan Fluks Cahaya (Lumen)

$$\Phi = \Phi_{nom}\left(\frac{P}{P_{nom}}\right)$$

$$\Phi = 1020\left(\frac{9{,}02316}{10}\right)$$

$$\Phi = 1020(0{,}902316)$$

$$\Phi = 920{,}36 \text{ Lumen}$$

16. Perhitungan Intensitas Penerangan (Lux)

$$\mathrm{E} = \frac{\Phi}{\mathrm{A}}$$

$$\mathrm{E} = \frac{1020}{10}$$

$$E = 102LUX$$

17. Perhitungan Persentase Kecerahan Lampu

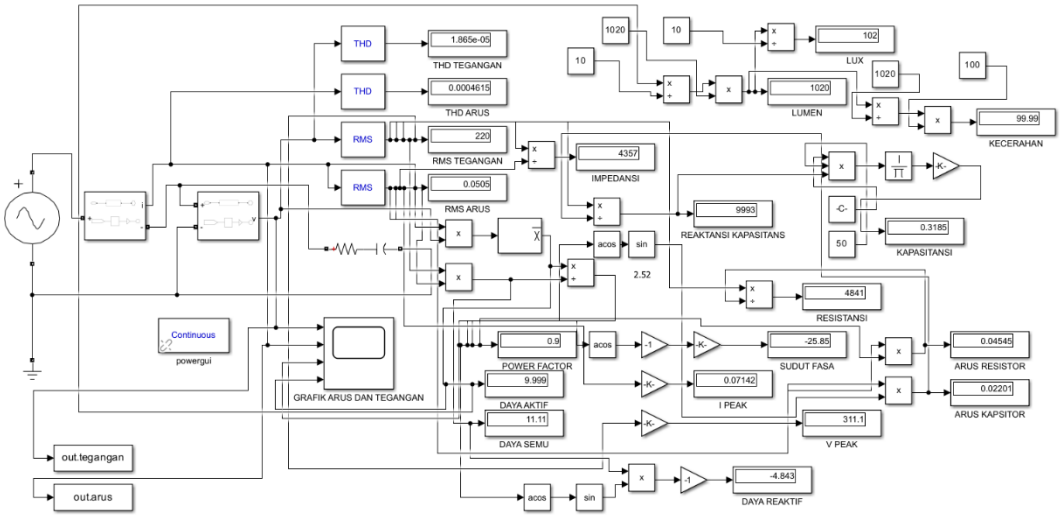
$$\mathrm{K} = \frac{\Phi}{\Phi_{nom}} \times 100$$

$$\mathrm{K} = \frac{920{,}36}{1020} \times 100$$

$$K = 0{,}902 \times 100$$

$K = 90{,}23$

4.3.5.3 Kondisi normal 220V



Gambr 4. 24 Rangkaian Lampu LED 10W Normal

Pada Gambar 4.24 menunjukkan rangkaian simulasi lampu LED 10 W dengan driver elektronik menggunakan MATLAB/Simulink. Lampu LED dimodelkan sebagai beban kapasitif ekuivalen (RC) dengan sumber tegangan peak amplitude sebesar 311,13 V dan frekuensi 50 Hz. Beban direpresentasikan menggunakan RLC paralel RLC Branch dengan nilai resistansi sebesar 3921 Ω dan kapasitansi sebesar 1,676 µF. Hasil simulasi menunjukkan tegangan RMS sebesar 220 V, arus RMS sebesar 0,0505 A, daya aktif sebesar 9,999 W, daya semu sebesar 11,11 VA, daya reaktif sebesar −4,843 VAR, serta faktor daya sebesar 0,90 (leading). Nilai THD tegangan sebesar $5{,}18 \times 10^{-6}$ dan THD arus sebesar $4{,}646 \times 10^{-4}$ yang sangat kecil menunjukkan bahwa kualitas daya pada model simulasi sangat baik dengan distorsi harmonisa yang dapat diabaikan. Pada blok perhitungan digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter agar proses simulasi dapat berjalan sesuai dengan karakteristik lampu LED 10 W. Nilai 1020 menunjukkan fluks cahaya (lumen) normal lampu LED 10 W pada kondisi tegangan normal 220 V. Nilai ini digunakan sebagai acuan untuk menghitung jumlah lumen yang dihasilkan serta sebagai nilai referensi dalam menentukan persentase kecerahan lampu. Selanjutnya, nilai 10 yang berada pada sisi kiri blok perhitungan menunjukkan daya normal lampu LED sebesar 10 W, yang digunakan sebagai dasar untuk mengonversi daya aktif hasil simulasi menjadi fluks cahaya (lumen). Nilai 10 yang berada di atas blok LUX

menunjukkan luas ruangan sebesar 10 m², sehingga intensitas pencahayaan dapat dihitung dengan membagi jumlah lumen terhadap luas ruangan sesuai satuan lux. Selain itu, nilai 100 digunakan sebagai konstanta pengali untuk mengubah hasil perbandingan antara lumen aktual dan lumen normal ke dalam bentuk persentase (%), sehingga diperoleh nilai kecerahan lampu terhadap kondisi normal. Pada bagian perhitungan kapasitansi, digunakan nilai 50 yang menunjukkan frekuensi sistem tenaga listrik sebesar 50 Hz, sesuai dengan standar frekuensi listrik di Indonesia.

Perhitungan

1. Arus Resistor

Rumus:

$IR = V / R$

$IR = 220 / 4841$

$IR = 0{,}04545$ A

2. Reaktansi Kapasitif

Rumus:

$XC = 1 / (2\pi fC)$

$XC = 1 / (2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (6{,}2832 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (314{,}16 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / 0{,}00010006$

$XC = 9994\ \Omega$

3. Arus Kapasitor

Rumus:

$IC = V / XC$

$IC = 220 / 9994$

$IC = 0{,}02201$ A

4. Arus Total

Rumus:

$I = \sqrt{(IR^2 + IC^2)}$

$I = \sqrt{((0{,}04545)^2 + (0{,}02201)^2)}$

$I = \sqrt{(0{,}002066 + 0{,}000484)}$

$I = 0{,}05050\ A$

5. Impedansi

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XC)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/4841)^2 + (1/9994)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(0{,}00020657)^2 + (0{,}00010006)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[4{,}2671 \times 10^{-8} + 1{,}0012 \times 10^{-8}]}$

$Z = 1 / \sqrt{[5{,}2683 \times 10^{-8}]}$

$Z = 1 / 0{,}00022953$

$Z = 4356{,}79\ \Omega$

6. Daya Aktif

Rumus:

$P = V^2 / R$

$P = 220^2 / 4841$

$P = 48400 / 4841$

$P = 9{,}998\ W$

$\approx 10\ W$

7. Daya Reaktif

Rumus:

$Q = -V^2 / XC$

$Q = -220^2 / 9994$

$Q = -48400 / 9994$

$Q = -4{,}843\ VAR$

Nilai negatif menunjukkan karakteristik kapasitif.

8. Daya Semu

Rumus:

$S = V \times I$

$S = 220 \times 0{,}05050$

$S = 11{,}11\ VA$

9. Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

PF = 9,998 / 11,11

PF = 0,90

10. Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = -\tan^{-1}(IC / IR)$

$\theta = -\tan^{-1}(0{,}02201 / 0{,}04545)$

$\theta = -25{,}85°$

Nilai negatif menunjukkan arus leading terhadap tegangan.

11. Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms}\sqrt{2}$

$V_{peak} = 220 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 311{,}13$ V

12. Arus Puncak

Rumus:

$I_{peak} = I_{rms}\sqrt{2}$

$I_{peak} = 0{,}05050 \times 1{,}4142$

$I_{peak} = 0{,}07141$ A

13. Perhitungan Fluks Cahaya (Lumen)

$$\Phi = \Phi_{nom}\left(\frac{P}{P_{nom}}\right)$$

$$\Phi = 900\left(\frac{10}{10}\right)$$

$$\Phi = 900(1)$$

$\Phi = 900$ Lumen

14. Perhitungan Intensitas Penerangan (Lux)

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

$$E = \frac{900}{10}$$

$E = 90LUX$

15. Perhitungan Persentase Kecerahan Lampu

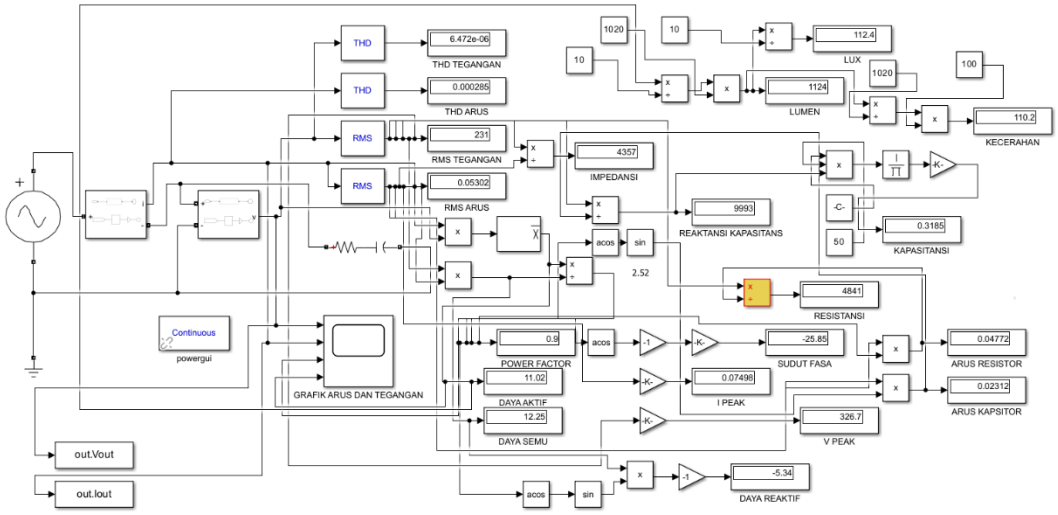
$$K = \frac{\Phi}{\Phi_{nom}} \times 100$$

$$\mathrm{K} = \frac{900}{900} \times 100$$

$$K = 1 \times 100$$

$$K = 100$$

4.3.5.4 Kondisi Overvoltage 231V



Gambr 4. 25 Rangkaian Lampu LED 10W undervoltage -5%

Berdasarkan pada gambar 4.25 hasil simulasi , lampu LED 10 W diuji pada kondisi tegangan 231 V, yaitu sekitar 5% di atas tegangan normal 220 V (overvoltage). Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan RMS yang diterima beban sebesar 231 V, sedangkan tegangan puncak (Vpeak) sebesar 326,7 V, sesuai dengan hasil perhitungan teoritis menggunakan persamaan $V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$. Arus RMS yang mengalir pada beban sebesar 0,05302 A, sedangkan arus puncaknya sebesar 0,07496 A. Dibandingkan kondisi tegangan normal, peningkatan tegangan menyebabkan arus yang mengalir pada beban juga meningkat sehingga energi yang diserap lampu menjadi lebih besar. Hasil simulasi menunjukkan daya aktif sebesar 11,02 W dan daya semu sebesar 12,25 VA dengan faktor daya (power factor) sebesar 0,90. Nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan tegangan menyebabkan konsumsi daya aktif melebihi daya normal lampu sebesar 10 W. Kondisi ini mengindikasikan bahwa lampu menghasilkan intensitas cahaya yang lebih tinggi, namun apabila terjadi secara terus-menerus dapat mempercepat penurunan umur komponen elektronik pada driver LED akibat peningkatan disipasi daya. Impedansi beban yang diperoleh sebesar 4357 Ω, dengan resistansi sebesar 4841 Ω dan reaktansi kapasitif sebesar 9993 Ω. Nilai kapasitansi

ekuivalen tetap sebesar 0,3185 μF, sehingga menunjukkan bahwa karakteristik rangkaian beban tidak berubah meskipun terjadi kenaikan tegangan. Selain itu, daya reaktif sebesar −5,34 VAR dengan sudut fasa −25,85° menunjukkan bahwa beban tetap bersifat kapasitif. Nilai THD tegangan sebesar $9{,}186 \times 10^{-6}$ dan THD arus sebesar 0,0004619 menunjukkan bahwa distorsi harmonisa yang terjadi masih sangat kecil. Hal ini menandakan bahwa kualitas gelombang tegangan maupun arus tetap baik dan mendekati bentuk sinusoidal selama simulasi berlangsung.

Pada blok perhitungan digunakan beberapa angka pendukung sebagai parameter agar proses simulasi dapat berjalan sesuai dengan karakteristik lampu LED 10 W. Nilai 1020 menunjukkan fluks cahaya (lumen) normal lampu LED 10 W pada kondisi tegangan normal 220 V. Nilai ini digunakan sebagai acuan untuk menghitung jumlah lumen yang dihasilkan serta sebagai nilai referensi dalam menentukan persentase kecerahan lampu. Selanjutnya, nilai 10 yang berada pada sisi kiri blok perhitungan menunjukkan daya normal lampu LED sebesar 10 W, yang digunakan sebagai dasar untuk mengonversi daya aktif hasil simulasi menjadi fluks cahaya (lumen). Nilai 10 yang berada di atas blok LUX menunjukkan luas ruangan sebesar 10 m², sehingga intensitas pencahayaan dapat dihitung dengan membagi jumlah lumen terhadap luas ruangan sesuai satuan lux. Selain itu, nilai 100 digunakan sebagai konstanta pengali untuk mengubah hasil perbandingan antara lumen aktual dan lumen normal ke dalam bentuk persentase (%), sehingga diperoleh nilai kecerahan lampu terhadap kondisi normal. Pada bagian perhitungan kapasitansi, digunakan nilai 50 yang menunjukkan frekuensi sistem tenaga listrik sebesar 50 Hz, sesuai dengan standar frekuensi listrik di Indonesia

Perhitungan

1. Arus Resistor

Rumus:

$IR = V / R$

$IR = 231 / 4841$

$IR =$ **0,04772 A**

2. Reaktansi Kapasitif

Rumus:

$XC = 1 / (2\pi fC)$

$XC = 1 / (2 \times 3{,}1416 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (6{,}2832 \times 50 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / (314{,}16 \times 0{,}3185 \times 10^{-6})$

$XC = 1 / 0{,}00010006$

$XC = 9994\ \Omega$

3. Arus Kapasitor

Rumus:

$IC = V / XC$

$IC = 231 / 9994$

$IC = 0{,}02311$ A

4. Arus Total

Rumus:

$I = \sqrt{(IR^2 + IC^2)}$

$I = \sqrt{((0{,}04772)^2 + (0{,}02311)^2)}$

$I = \sqrt{(0{,}002277 + 0{,}000534)}$

$I = 0{,}05302$ A

5. Impedansi

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XC)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/4841)^2 + (1/9994)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(0{,}00020657)^2 + (0{,}00010006)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0{,}00000004267 + 0{,}00000001001)}$

$Z = 1 / \sqrt{0{,}00000005268}$

$Z = 1 / 0{,}00022953$

$Z = 4356{,}79\ \Omega$

6. Daya Aktif

Rumus:

$P = V^2 / R$

$P = 231^2 / 4841$

$P = 53361 / 4841$

$P = 11{,}023$ W

7. Daya Reaktif

Rumus:

$Q = -V^2 / XC$

$Q = -231^2 / 9994$

$Q = -53361 / 9994$

$Q = -5{,}339$ VAR

Nilai negatif menunjukkan karakteristik kapasitif.

8. Daya Semu

Rumus:

$S = V \times I$

$S = 231 \times 0{,}05302$

$S = 12{,}248$ VA

9. Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

$PF = 11{,}023 / 12{,}248$

$PF = 0{,}90$

10. Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = -\tan^{-1}(IC / IR)$

$\theta = -\tan^{-1}(0{,}02311 / 0{,}04772)$

$\theta = -25{,}85°$

Nilai negatif menunjukkan arus leading terhadap tegangan.

11. Tegangan Puncak

Rumus:

$Vpeak = Vrms\sqrt{2}$

$Vpeak = 231 \times 1{,}4142$

$Vpeak = 326{,}69$ V

12. Arus Puncak

Rumus:

$Ipeak = Irms\sqrt{2}$

$Ipeak = 0{,}05302 \times 1{,}4142$

Ipeak = 0,07498 A

13. Thd Tegangan

Thd Tegangan = 9,186 × 10^{-6}

14. Thd Arus

Thd Arus = 0,0004619

15. Perhitungan Fluks Cahaya (Lumen)

$$\Phi = \Phi_{nom}\left(\frac{P}{P_{nom}}\right)$$

$$\Phi = 1020\left(\frac{11{,}02}{10}\right)$$

$$\Phi = 1020(1.102)$$

$$\Phi = 1.124 \text{ Lumen}$$

16. Perhitungan Intensitas Penerangan (Lux)

$$\mathrm{E} = \frac{\Phi}{\mathrm{A}}$$

$$\mathrm{E} = \frac{1.124}{10}$$

$$E = 112LUX$$

17. Perhitungan Persentase Kecerahan Lampu

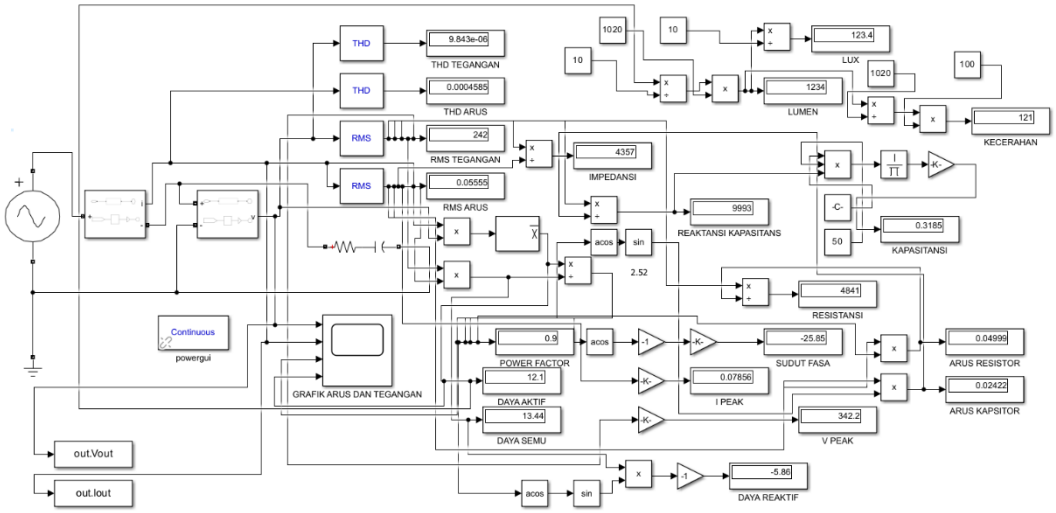
$$\mathrm{K} = \frac{\Phi}{\Phi_{nom}} \times 100$$

$$\mathrm{K} = \frac{1.124}{1020} \times 100$$

$$K = 1.101 \times 100$$

$$K = 110$$

4.3.5.5 Kondisi Overvoltage 242V



Gambr 4. 26 Rangkaian Lampu LED 10W undervoltage -10%

Berdasarkan pada gambar 4.26 hasil simulasi memperlihatkan lampu LED 10 W diuji pada kondisi tegangan 242 V, yaitu sekitar 10% di atas tegangan normal 220 V (overvoltage). Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan RMS yang diterima beban sebesar 242 V, sedangkan tegangan puncak (Vpeak) sebesar 342,2 V. Nilai tersebut sesuai dengan hasil perhitungan teoritis menggunakan persamaan $V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2}$. Arus RMS yang mengalir pada lampu sebesar 0,05555 A, sedangkan arus puncaknya mencapai 0,07856 A.

Perhitungan

1. Arus Resistor

Rumus:

IR = V / R

IR = 242 / 4841

IR = 0,04999 A

2. Reaktansi Kapasitif

Rumus:

XC = 1 / (2πfC)

XC = 1 / (2 × 3,1416 × 50 × 0,3185 × 10^{-6})

XC = 1 / (6,2832 × 50 × 0,3185 × 10^{-6})

XC = 1 / (314,16 × 0,3185 × 10^{-6})

XC = 1 / 0,00010006

$XC = 9994\ \Omega$

3. Arus Kapasitor

Rumus:

$IC = V / XC$

$IC = 242 / 9994$

$IC = 0{,}02421\ A$

4. Arus Total

Rumus:

$I = \sqrt{(IR^2 + IC^2)}$

$I = \sqrt{((0{,}04999)^2 + (0{,}02421)^2)}$

$I = \sqrt{(0{,}002499 + 0{,}000586)}$

$I = 0{,}05554\ A$

5. Impedansi

Rumus:

$Z = 1 / \sqrt{[(1/R)^2 + (1/XC)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(1/4841)^2 + (1/9994)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{[(0{,}00020657)^2 + (0{,}00010006)^2]}$

$Z = 1 / \sqrt{(0{,}00000004267 + 0{,}00000001001)}$

$Z = 1 / \sqrt{0{,}00000005268}$

$Z = 1 / 0{,}00022953$

$Z = 4356{,}79\ \Omega$

6. Daya Aktif

Rumus:

$P = V^2 / R$

$P = 242^2 / 4841$

$P = 58564 / 4841$

$P = 12{,}097\ W$

7. Daya Reaktif

Rumus:

$Q = -V^2 / XC$

$Q = -242^2 / 9994$

$Q = -58564 / 9994$

$Q = -5{,}859$ VAR

Nilai negatif menunjukkan karakteristik kapasitif.

8. Daya Semu

Rumus:

$S = V \times I$

$S = 242 \times 0{,}05554$

$S = 13{,}44$ VA

9. Faktor Daya

Rumus:

$PF = P / S$

$PF = 12{,}097 / 13{,}44$

$PF = 0{,}90$

10. Sudut Fasa

Rumus:

$\theta = -\tan^{-1}(IC / IR)$

$\theta = -\tan^{-1}(0{,}02421 / 0{,}04999)$

$\theta = -25{,}85°$

Nilai negatif menunjukkan arus leading terhadap tegangan.

11. Tegangan Puncak

Rumus:

$V_{peak} = V_{rms}\sqrt{2}$

$V_{peak} = 242 \times 1{,}4142$

$V_{peak} = 342{,}24$ V

12. Arus Puncak

Rumus:

$I_{peak} = I_{rms}\sqrt{2}$

$I_{peak} = 0{,}05554 \times 1{,}4142$

$I_{peak} = 0{,}07855$ A

13. Thd tegangan

$= 1{,}49 \times 10^{-8}$

14. Thd Arus

$= 0{,}0003247$

15. Perhitungan Fluks Cahaya (Lumen)

$$\Phi = \Phi_{nom}\left(\frac{P}{P_{nom}}\right)$$

$$\Phi = 1020\left(\frac{12{,}0988}{10}\right)$$

$$\Phi = 1020(1.209)$$

$$\Phi = 1.233 \text{ Lumen}$$

16. Perhitungan Intensitas Penerangan (Lux)

$$\mathrm{E} = \frac{\Phi}{\mathrm{A}}$$

$$\mathrm{E} = \frac{1.233}{10}$$

$$E = 123LUX$$

17. Perhitungan Persentase Kecerahan Lampu

$$\mathrm{K} = \frac{\Phi}{\Phi_{nom}} \times 100$$

$$\mathrm{K} = \frac{1.233}{1020} \times 100$$

$$K = 1{,}20 \times 100$$

$$K = 120$$

4.3.5.6 Rekapitulasi Hasil Simulasi Lampu LED 10 W pada Berbagai Kondisi Tegangan

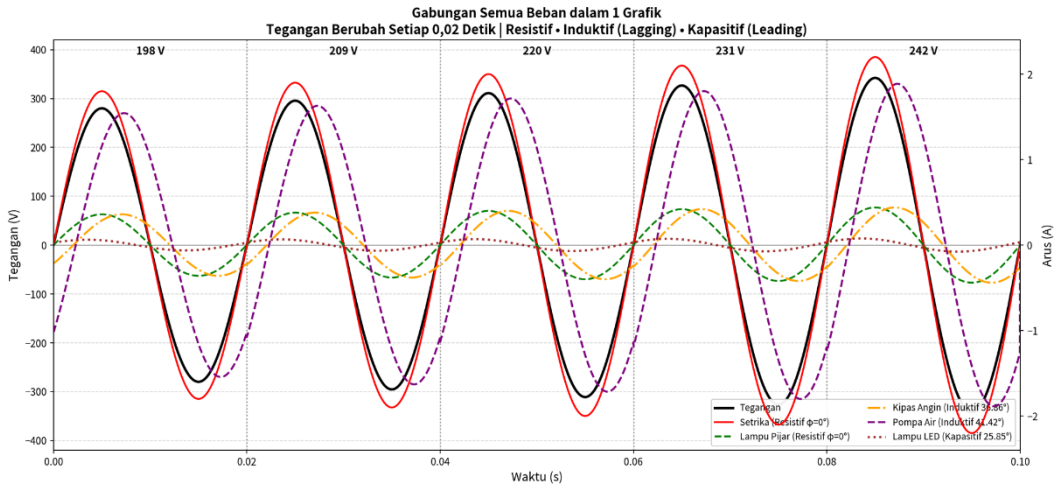
Tabel 4. 8 Hasil Simulasi Lampu led 10 W

Parameter	Satuan	198V	209V	220V	231V	242V
Tegangan RMS	V	198	209	220	231	242
Tegangan Puncak	V	280,0	295,6	311,1	326,7	342,2
Arus RMS	A	0,04544	0,04797	0,05050	0,05302	0,05554
Arus Puncak	A	0,06426	0,06784	0,07141	0,07498	0,07855
Daya Aktif	W	8,098	9,023	10,00	11,02	12,097
Daya Semu	VA	9,00	10,03	11,11	12,25	13,44
Daya Reaktif	VAR	3,922	−4,371	−4,843	−5,339	-5,859
PF		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Sudut Fasa	°	−25,85°	−25,85°	−25,85°	−25,85°	−25,85°
Impedansi	Ω	4356,79	4356,79	4356,79	4356,79	4356,79
Arus resistor	A	0,04090	0,04317	0,04545	0,04772	0,04999
Arus kapasitor	A	0,01981	0,02091	0,02201	0,02311	0,02421
Resistansi	Ω	4841	4841	4841	4841	4841
Reaktansi Kapasitif	Ω	9994	9994	9994	9994	9994
Kapasitans	µF	1,676	1,676	1,676	1,676	1,676
THD Tegangan		$1{,}49\times10^{-8}$	$1{,}733\times10^{-5}$	$5{,}18\times10^{-6}$	$9{,}186\times10^{-6}$	$1{,}49\times10^{-8}$
THD Arus		0,0005068	0,0003064	0,00040	0,0004619	0,0003247

Lumen	Φ	825,79	920,36	1020	1.124	1.233
Lux	E	82,57	92,03	102	112	123
Kecerahan	K	80,95	90,23	100	110	120

4.4 Analisis Respon Fluktuasi Tegangan terhadap Kinerja Beban Listrik Rumah Tangga

4.4.1 Karakteristik Respon Gelombang Tegangan dan Arus Berbagai Beban



Gambr 4. 27 Tegangan dan arus terhadap waktu

Grafik menunjukkan perbandingan karakteristik gelombang tegangan dan arus dari lima jenis beban rumah tangga pada tegangan yang divariasikan secara bertahap (198 V → 209 V → 220 V → 231 V → 242 V) setiap 0,02 detik (satu periode pada frekuensi 50 Hz).

Tabel 4. 9 Data Tegangan dan Arus pada Berbagai Level Tegangan

No	Vrms (V)	Vpeak (V)	Setrika Ipeak (A)	L. Pijar Ipeak (A)	Kipas Ipeak (A)	Pompa Ipeak (A)	LED Ipeak (A)
1	198	280,0	1,800	0,360	0,360	1,543	0,063
2	209	295,6	1,900	0,380	0,380	1,629	0,066
3	220	311,1	2,000	0,400	0,400	1,715	0,070
4	231	326,7	2,100	0,420	0,420	1,800	0,073
5	242	342,2	2,200	0,440	0,440	1,886	0,077

Tabel 4. 10 Karakteristik Fase dan Faktor Daya Peralatan

No	Peralatan	Jenis Beban	φ (°)	Δt (s)	Sifat Arus	cos φ
1	Setrika	Resistif	0	0	Sejajar	1,000
2	Lampu Pijar	Resistif	0	0	Sejajar	1,000
3	Kipas Angin	Induktif	36,86	0,00205	Lagging	0,800
4	Pompa Air	Induktif	41,42	0,00230	Lagging	0,750
5	Lampu LED	Kapasitif	25,85	0,001436	Leading	0,900

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis gelombang tegangan serta arus pada berbagai peralatan listrik rumah tangga, dapat disimpulkan bahwa setiap jenis beban memiliki karakteristik yang berbeda. Beban resistif seperti setrika dan lampu pijar menunjukkan arus yang sefase dengan tegangan (φ = 0°), sehingga memiliki faktor daya sempurna. Sementara itu, beban induktif seperti kipas angin dan pompa air menyebabkan arus tertinggal terhadap tegangan (lagging) dengan sudut fase masing-masing 36,86° dan 41,42°, yang mengakibatkan faktor daya menurun. Sebaliknya, lampu LED bersifat kapasitif sehingga arusnya mendahului tegangan (leading) dengan sudut fase 25,85°. Secara keseluruhan, semakin besar sudut fase yang terbentuk, semakin rendah faktor daya peralatan tersebut. Beban induktif, khususnya pompa air, memberikan pengaruh paling signifikan terhadap penurunan faktor daya. Oleh karena itu, penggunaan peralatan dengan faktor daya rendah secara terus-menerus dapat meningkatkan konsumsi daya reaktif dan menurunkan efisiensi sistem kelistrikan.

4.4.2 Karakteristik Hubungan Daya Aktif, Daya Semu, dan Daya Reaktif Antar Beban

Hubungan antara daya aktif (P), daya semu (S), dan daya reaktif (Q) merupakan dasar penting dalam menilai karakteristik beban listrik rumah tangga. Ketiga parameter ini terhubung melalui persamaan segitiga daya:

$$S = \sqrt{P^2} + Q^2$$

$$P = S.cos\theta = Vrms\,.Irms\,.PF$$

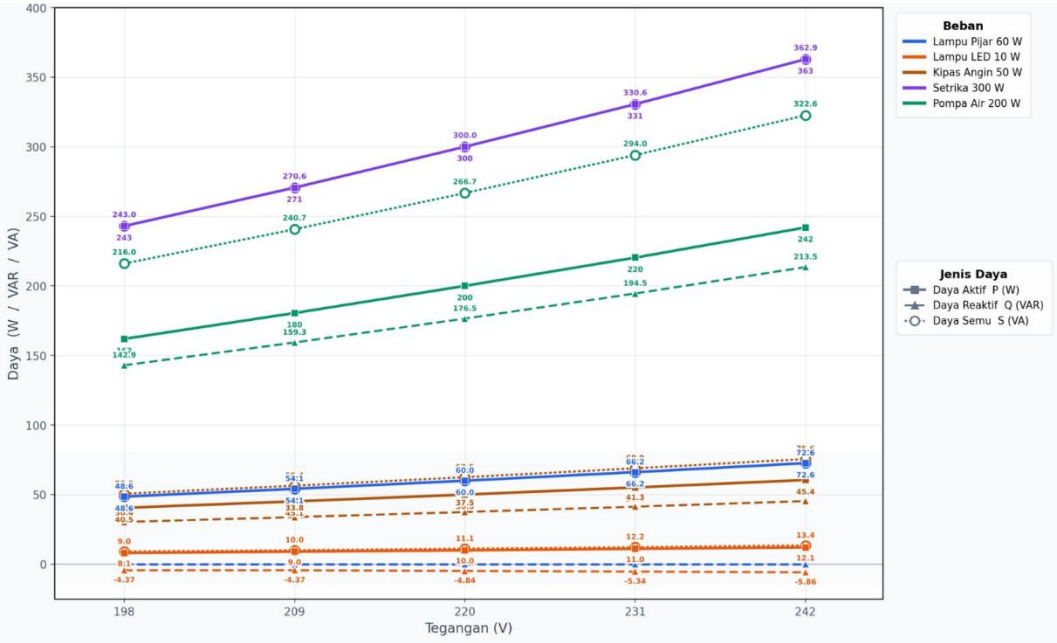
$$Q = Sin\,.sin\theta$$

karakteristik hubungan daya pada masing-masing beban dapat digolongkan sebagai berikut:

Beban resistif murni (lampu pijar dan setrika): $Q = 0$, sehingga $S = P$ dan faktor daya = 1.

Beban induktif (kipas angin dan pompa air): $Q > 0$ (lagging), sehingga $S > P$.

Beban kapasitif (lampu LED): $Q < 0$ (leading), sehingga $S > P$



Gambr 4. 28 Respon daya aktif, semu, reaktif terhadap fluktuasi tegangan

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada Gambar X, dapat diamati hubungan antara tegangan terhadap daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S) pada berbagai beban rumah tangga. Secara umum, ketiga jenis daya cenderung meningkat seiring dengan naiknya tegangan dari 198 V hingga 242 V. Hal ini sesuai dengan karakteristik dasar rangkaian listrik, di mana daya berbanding lurus dengan kuadrat tegangan pada beban resistif, serta dipengaruhi oleh impedansi beban.

1. Beban Resistif (Lampu Pijar dan Setrika)

Lampu pijar 60 W dan setrika 300 W menunjukkan nilai daya reaktif yang mendekati nol pada seluruh rentang tegangan. Hal ini menandakan bahwa kedua beban bersifat resistif murni (faktor daya = 1). Daya aktif dan daya semu pada beban ini hampir sama nilainya, yang semakin menguatkan bahwa tidak terdapat komponen reaktif yang signifikan. Kenaikan daya aktif pada setrika cukup tajam,

dari sekitar 245 W pada 198 V menjadi 362 W pada 242 V, sebanding dengan peningkatan tegangan.

2. Beban dengan Komponen Reaktif (Pompa Air dan Kipas Angin)

Pompa air 200 W memiliki daya reaktif yang relatif tinggi dan terus meningkat seiring naiknya tegangan (dari 121,4 VAR menjadi 181,5 VAR). Kondisi ini disebabkan oleh karakteristik motor induksi pada pompa yang bersifat induktif. Akibatnya, daya semu pompa air selalu lebih besar dibandingkan daya aktifnya. Kipas angin 50 W juga menunjukkan adanya daya reaktif, meskipun nilainya lebih kecil (30,35–45,34 VAR). Hal ini mengindikasikan bahwa motor kipas memiliki komponen induktif, namun tidak sebesar pompa air.

3. Lampu LED

Lampu LED 10 W memiliki daya aktif, reaktif, dan semu yang relatif kecil dan stabil. Meskipun terdapat sedikit daya reaktif, nilainya sangat rendah dibandingkan beban lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa driver LED modern sudah cukup efisien dan mendekati sifat resistif.

4. Hubungan Antara P, Q, dan S

Pada seluruh beban, hubungan $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ terpenuhi. Pada beban resistif, nilai S hampir sama dengan P karena Q ≈ 0. Sedangkan pada pompa air, selisih antara S dan P cukup besar akibat kontribusi Q yang signifikan.

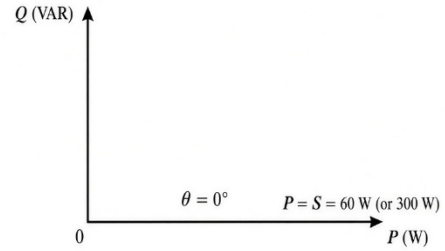
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Hubungan daya aktif,semu,reaktif Antarbeban

No	Jenis Beban	Parameter	198 V	209 V	220 V	231 V	242 V
1	Lampu Pijar 60 W	P (W)	48,59	54,15	60,00	66,15	72,60
		S (VA)	48,59	54,12	60,00	66,15	72,60
		Q (VAR)	0	0	0	0	0
2	Setrika 300 W	P (W)	243,0	270,6	300,0	330,6	362,9
		S (VA)	243,0	270,6	300,0	330,6	362,9
		Q (VAR)	0	0	0	0	0
3	Kipas Angin 50 W	P (W)	40,50	45,13	50,00	55,13	60,50
		S (VA)	50,61	56,41	62,49	68,88	75,60
		Q (VAR)	30,36	33,83	37,49	41,33	45,35
4	Pompa Air 200 W	P (W)	161,9	180,50	200,0	220,3	242,0
		S (VA)	216,02	240,68	266,7	294,0	322,59
		Q (VAR)	142,94	159,32	176,5	194,54	213,5
5	Lampu LED 10 W	P (W)	8,098	9,023	10,00	11,02	12,097
		S (VA)	9,00	10,03	11,11	12,25	13,44
		Q (VAR)	−4,37*	−4,371	−4,843	−5,339	−5,859

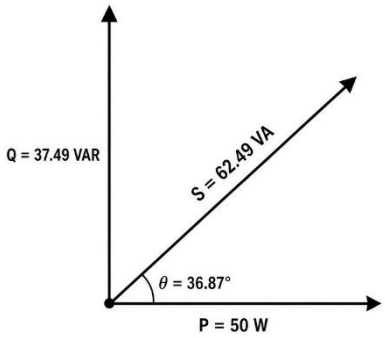
Berikut gambaran diagram phasor (segitiga daya) untuk masing-masing kelompok

beban berdasarkan nilai hasil simulasi:

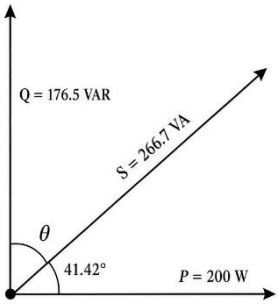
1. Beban Resistif (Lampu Pijar 60 W dan Setrika 300 W) Phasor (P) dan (S) berimpit (searah), sedangkan (Q = 0).



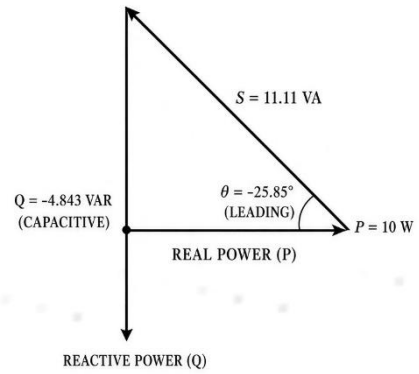
2. Beban induktif kipas angin 50w



3. Beban induktif pompa air 200w



4. Beban kapasitif lampu led



Dari diagram phasor dan data simulasi dapat disimpulkan bahwa karakteristik hubungan (P)–(S)–(Q) sangat ditentukan oleh jenis beban. Beban resistif memiliki efisiensi tertinggi (PF = 1), sedangkan beban induktif memiliki komponen daya reaktif yang signifikan sehingga lebih sensitif terhadap fluktuasi tegangan.

Analisis Karakteristik Hubungan Antar Beban

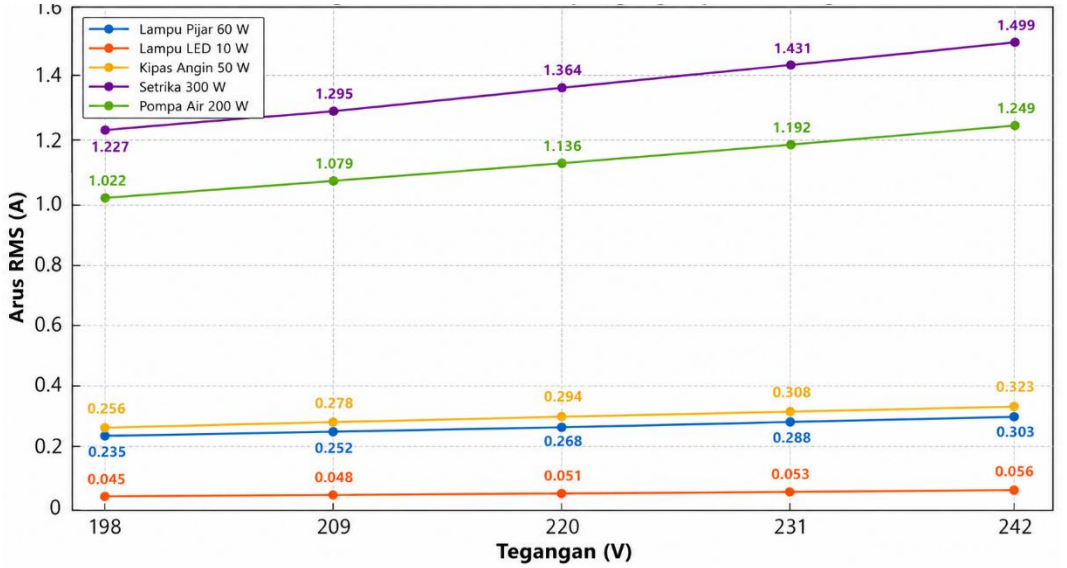
1. Beban Resistif (Lampu Pijar & Setrika) Seluruh daya semu diubah menjadi daya aktif (S = P). Tidak ada komponen daya reaktif. Perubahan tegangan hanya memengaruhi besar (P) dan (S) secara proporsional, tanpa mengubah faktor daya.
2. Beban Induktif (Kipas Angin & Pompa Air) Terdapat komponen daya reaktif positif yang cukup signifikan. Pompa air memiliki sudut fasa lebih besar (41,42°) dibandingkan kipas angin (36,87°), sehingga rasio (Q/P) lebih tinggi. Hal ini menyebabkan daya semu jauh lebih besar dari daya aktif, yang berdampak pada peningkatan arus RMS dan rugi-rugi pada saluran.
3. Beban Kapasitif (Lampu LED)

   Daya reaktif bernilai negatif (arus mendahului tegangan). Meskipun daya aktif kecil (10 W), adanya komponen kapasitif membuat (S > P). Karakteristik leading ini dapat membantu kompensasi daya reaktif jika dioperasikan bersama beban induktif.

Perbandingan Sensitivitas

Dari hasil simulasi, perubahan tegangan paling kuat memengaruhi besar (P) dan (S) pada beban resistif, sedangkan pada beban induktif dan kapasitif, perubahan (Q) juga ikut berpengaruh terhadap nilai (S) dan arus RMS. Dengan demikian, pemahaman hubungan (P)–(S)–(Q) ini penting untuk menilai dampak fluktuasi tegangan terhadap efisiensi, faktor daya, dan keandalan peralatan listrik rumah tangga.

4.4.2 Arus rms



Gambr 4. 29 Respon irms beban berbagai kondisi tegangan

Berdasarkan Gambar 4.29, terlihat bahwa seluruh beban listrik rumah tangga mengalami peningkatan arus RMS seiring dengan kenaikan tegangan dari 176 V hingga 242 V. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan suplai berpengaruh terhadap besar arus yang mengalir pada masing-masing beban. Namun, besarnya peningkatan arus berbeda-beda bergantung pada karakteristik dan daya normal setiap beban.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi arus rms setiap tegangan

Beban	198 V	209 V	220 V	231 V	242 V
Lampu Pijar 60 W	0.235	0.252	0.268	0.288	0.303
Lampu LED 10 W	0.045	0.048	0.051	0.053	0.056
Kipas Angin 50 W	0.256	0.278	0.294	0.308	0.323
Setrika 300 W	1.227	1.295	1.364	1.431	1.499
Pompa Air 200 W	1.022	1.079	1.136	1.192	1.249

Pembahasan

1. Lampu Pijar

Lampu pijar 60 W menunjukkan kenaikan arus yang hampir linier, yaitu dari 0,2454 A pada tegangan 198 V menjadi 0,300 A pada tegangan 242 V. Hal ini disebabkan lampu pijar merupakan beban resistif, sehingga perubahan arus mengikuti perubahan tegangan pada hambatan filamen. Selain itu, karena beban resistif tidak

mengubah hubungan fasa antara tegangan dan arus, keduanya tetap sefase. Hasil ini sejalan dengan penelitian [33] yang menyatakan bahwa lampu pijar termasuk beban resistif dan pengukuran dilakukan berdasarkan hubungan antara tegangan RMS, arus RMS, serta daya aktif pada lampu pijar.

2. Setrika

Berdasarkan hasil simulasi, setrika 300 W memiliki arus RMS terbesar, yaitu meningkat dari 1,227 A pada tegangan 198 V menjadi 1,499 A pada tegangan 242 V. Hal ini disebabkan setrika merupakan beban resistif sehingga kenaikan tegangan menyebabkan arus meningkat sesuai Hukum Ohm. Hasil ini sejalan dengan penelitian [34] yang menunjukkan bahwa pada rangkaian dengan hambatan tetap, arus meningkat secara linier ketika tegangan dinaikkan

3. Kipas angin

Pada kipas angin, arus RMS meningkat dari 0, A menjadi 0,312 A. Nilai ini sedikit lebih besar dibandingkan lampu pijar pada setiap kondisi tegangan karena kipas menggunakan motor induksi satu fasa yang memerlukan arus magnetisasi selain arus untuk menghasilkan daya aktif.

4. Pompa air

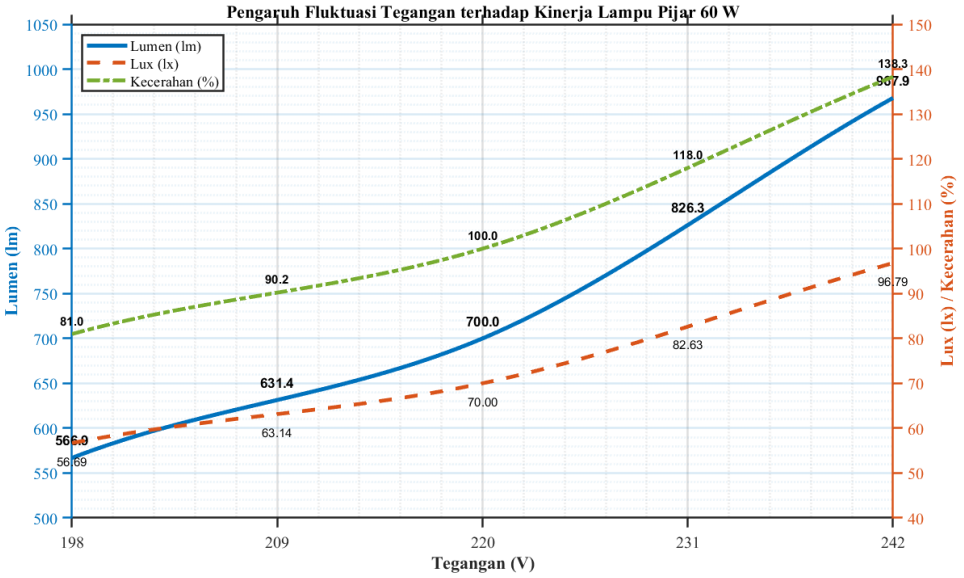
Pompa air 200 W menunjukkan kenaikan arus RMS secara bertahap seiring meningkatnya tegangan suplai. Arus RMS meningkat dari 1,022 A pada tegangan 198 V menjadi 1,079 A pada 209 V, 1,136 A pada 220 V, 1,192 A pada 231 V, dan mencapai 1,249 A pada 242 V. Nilai arus tersebut merupakan yang terbesar kedua setelah setrika 300 W. Hal ini menunjukkan bahwa pompa air memberikan respon yang cukup signifikan terhadap perubahan tegangan. Sebagai beban yang menggunakan motor induksi satu fasa, peningkatan tegangan menyebabkan arus operasi juga meningkat sehingga daya listrik yang diserap motor menjadi lebih besar. Kondisi ini dapat meningkatkan performa pompa, namun apabila berlangsung terus-menerus pada kondisi overvoltage, berpotensi meningkatkan rugi-rugi dan temperatur motor.

5. Lampu LED

Lampu LED 10 W menunjukkan kenaikan arus RMS secara bertahap seiring meningkatnya tegangan suplai. Arus RMS meningkat dari 0,045 A pada tegangan 198 V menjadi 0,048 A pada 209 V, 0,051 A pada 220 V, 0,053 A pada 231 V, dan

mencapai 0,056 A pada 242 V. Dibandingkan beban lainnya, perubahan arus pada lampu LED relatif kecil. Hal ini disebabkan lampu LED menggunakan driver elektronik yang berfungsi mengatur tegangan dan arus menuju rangkaian LED sehingga perubahan arus akibat fluktuasi tegangan menjadi lebih stabil.

4.5 Analisis Dampak Fluktuasi Tegangan terhadap Kinerja Beban



Gambr 4. 30 dampak perubahan kinerja lampu pijar berbagai kondisi tegangan

Hasil simulasi memperlihatkan pada kondisi undervoltage 198 V, lampu pijar 60 W menghasilkan 566,9 lumen, 56,69 lux, dan tingkat kecerahan sebesar 81%. Penurunan tegangan menyebabkan daya yang diterima filamen berkurang sehingga suhu filamen menurun dan cahaya yang dipancarkan menjadi lebih redup. Dampaknya, kualitas pencahayaan ruangan menurun sehingga kurang optimal untuk aktivitas yang membutuhkan penerangan yang baik. Hasil ini sejalan dengan penelitian [29] yang menyatakan bahwa fluktuasi tegangan sumber berpengaruh terhadap karakteristik pencahayaan lampu. Penurunan tegangan di bawah nilai normal menyebabkan penurunan tingkat iluminasi (lux) sehingga kualitas pencahayaan ikut menurun. Dengan demikian, hasil simulasi pada tegangan 198 V memperkuat temuan bahwa undervoltage menurunkan performa pencahayaan lampu, yang ditunjukkan oleh berkurangnya nilai lumen, lux, dan persentase kecerahan dibandingkan kondisi normal 220 V.

Pada kondisi tegangan 209 V, lampu pijar 60 W menghasilkan 631,4 lumen, 63,14

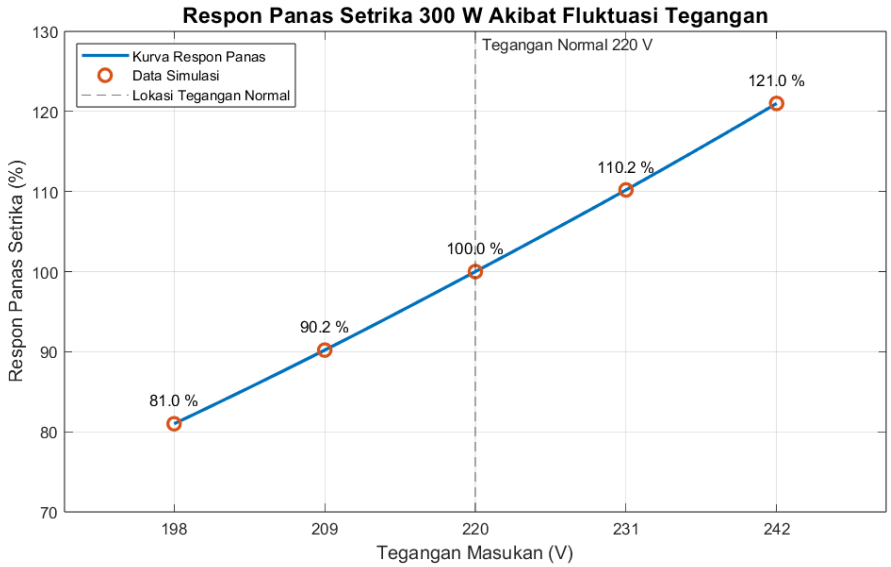
lux, dan tingkat kecerahan sebesar 90,2%. Dibandingkan kondisi 198 V, terjadi peningkatan intensitas cahaya karena tegangan suplai semakin mendekati nilai normal 220 V. Peningkatan tegangan menyebabkan daya yang diterima filamen bertambah sehingga suhu filamen meningkat dan cahaya yang dipancarkan menjadi lebih terang. Meskipun demikian, nilai lumen, lux, dan kecerahan masih berada di bawah kondisi normal, sehingga performa pencahayaan belum mencapai tingkat optimal. Hasil ini sejalan dengan penelitian [29] yang menyatakan bahwa perubahan tegangan sumber secara langsung memengaruhi tingkat iluminasi lampu. Semakin mendekati tegangan normal, nilai iluminasi (lux) meningkat sehingga kualitas pencahayaan menjadi lebih baik. Oleh karena itu, pada tegangan 209 V lampu telah menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan kondisi undervoltage 198 V, namun masih belum mampu menghasilkan pencahayaan sesuai spesifikasi pada tegangan normal 220 V.

Pada kondisi tegangan normal 220 V, lampu pijar 60 W menghasilkan 700 lumen, 70 lux, dan tingkat kecerahan sebesar 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa lampu bekerja sesuai dengan spesifikasi pabrikan karena menerima tegangan suplai sesuai nilai normal. Pada kondisi ini, daya yang diserap lampu berada pada nilai rancangannya sehingga suhu filamen berada pada kondisi optimal untuk menghasilkan cahaya yang stabil dan efisien. Akibatnya, kualitas pencahayaan yang dihasilkan berada pada tingkat terbaik tanpa mengalami penurunan maupun peningkatan yang berlebihan.

Pada kondisi overvoltage 231 V, lampu pijar 60 W menghasilkan 826,3 lumen, 82,63 lux, dan tingkat kecerahan sebesar 118%. Dibandingkan kondisi normal 220 V, terjadi peningkatan intensitas cahaya akibat kenaikan tegangan suplai. Tegangan yang lebih tinggi menyebabkan daya listrik yang diserap lampu meningkat sehingga suhu filamen bertambah dan menghasilkan pancaran cahaya yang lebih terang. Namun, peningkatan suhu filamen juga mempercepat proses penguapan material filamen sehingga umur pakai lampu berpotensi menjadi lebih pendek. Hasil ini sejalan dengan penelitian [35] yang menyatakan bahwa penyimpangan tegangan di atas nilai normal menyebabkan peningkatan karakteristik pencahayaan lampu, tetapi pada saat yang sama meningkatkan beban termal pada filamen sehingga dapat mengurangi keandalan dan umur operasi lampu. Oleh karena itu, meskipun pada tegangan 231 V kualitas pencahayaan meningkat, kondisi ini kurang ideal apabila terjadi secara terus-menerus karena dapat mempercepat kerusakan lampu.

Pada kondisi overvoltage 242 V, lampu pijar 60 W menghasilkan 967,9

lumen, 96,79 lux, dan tingkat kecerahan sebesar 138,3%, yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh kondisi pengujian. Peningkatan tegangan sebesar 10% dari nilai normal menyebabkan daya yang diserap lampu meningkat sehingga suhu filamen menjadi lebih tinggi. Kondisi tersebut menghasilkan pancaran cahaya yang lebih terang, ditunjukkan dengan meningkatnya nilai lumen dan lux secara signifikan. Namun, peningkatan temperatur filamen juga mempercepat proses penguapan material tungsten sehingga umur pakai lampu berpotensi menjadi lebih pendek. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian [35] yang menyatakan bahwa deviasi tegangan di atas nilai normal meningkatkan iluminasi lampu pijar, tetapi pada saat yang sama meningkatkan beban termal pada filamen sehingga mempercepat penurunan umur operasi lampu. Oleh karena itu, meskipun tegangan 242 V menghasilkan tingkat pencahayaan tertinggi, kondisi ini tidak direkomendasikan untuk penggunaan jangka panjang karena dapat mengurangi keandalan dan umur pakai lampu.



Gambr 4. 31 dampak perubahan kinerja setrika berbagai kondisi tegangan

Hasil simulasi memperlihatkan pada kondisi tegangan 198 V, respon panas setrika mencapai 81,0% dari kondisi normal. Penurunan tegangan menyebabkan daya yang diterima elemen pemanas menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi normal 220 V. Hal ini sesuai dengan penelitian [34]. yang menyatakan bahwa variasi tegangan suplai memberikan pengaruh terhadap karakteristik beban termal, dimana perubahan tegangan menyebabkan perubahan daya aktif dan energi yang

diserap oleh peralatan pemanas. Akibat berkurangnya daya masukan, proses konversi energi listrik menjadi energi panas menjadi lebih kecil sehingga waktu pemanasan menjadi lebih lama.

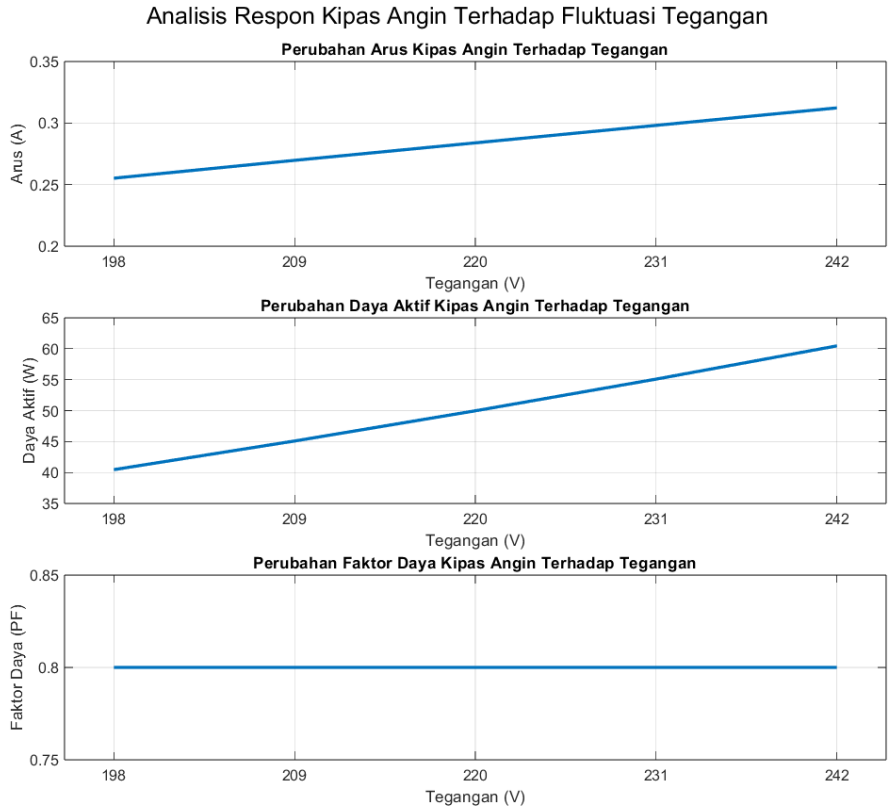
Hasil menunjukkan bahwa pada tegangan 209 V, elemen pemanas hanya menerima daya sekitar 90,2% dari daya normal 300 W. Penurunan daya ini menyebabkan energi panas yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan kondisi normal 220 V. Pada kondisi ini, setrika masih dapat bekerja dengan baik, tetapi proses peningkatan temperatur berlangsung sedikit lebih lambat. Waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu kerja menjadi lebih panjang karena jumlah energi panas yang dihasilkan elemen pemanas berkurang. Kondisi ini terutama berpengaruh saat menyetrika bahan pakaian yang membutuhkan temperatur tinggi.

Hasil menunjukkan bahwa pada tegangan 220 V, elemen pemanas menerima daya penuh sebesar 300 W sehingga energi listrik dapat dikonversikan menjadi energi panas secara optimal. Pada kondisi ini, setrika mampu mencapai temperatur kerja sesuai spesifikasi dalam waktu normal. Kinerja elemen pemanas berada pada kondisi paling stabil karena tidak mengalami kekurangan maupun kelebihan suplai tegangan. Selain itu, konsumsi daya sesuai dengan nilai rancangan sehingga risiko pemanasan berlebih maupun penurunan performa dapat diminimalkan.

Pada kondisi tegangan 231 V terjadi peningkatan tegangan sebesar 5% dari nilai normal 220 V. Berdasarkan hasil simulasi, respon panas setrika meningkat menjadi 110,2%. Peningkatan tersebut terjadi karena elemen pemanas menerima daya lebih besar akibat kenaikan tegangan suplai. Hal ini sesuai dengan penelitian [34]. yang menyatakan bahwa peningkatan tegangan pada beban termal menyebabkan peningkatan daya aktif yang diserap sehingga energi panas yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Pada kondisi tegangan 242 V terjadi peningkatan tegangan sebesar 10% dari nilai normal. Hasil simulasi menunjukkan respon panas setrika meningkat menjadi 121,0%. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya daya yang diterima elemen pemanas akibat kenaikan tegangan suplai. Kondisi tersebut sesuai dengan penelitian Faranda dkk. yang menyatakan bahwa kenaikan tegangan pada beban termal menyebabkan peningkatan daya aktif dan energi panas yang dihasilkan. Meskipun mempercepat proses pemanasan, kondisi overvoltage secara terus-

menerus dapat meningkatkan beban termal pada elemen pemanas sehingga berpotensi memperpendek umur pakai peralatan.



Gambr 4. 32 dampak perubahan kinerja kipas angin berbagai kondisi tegangan

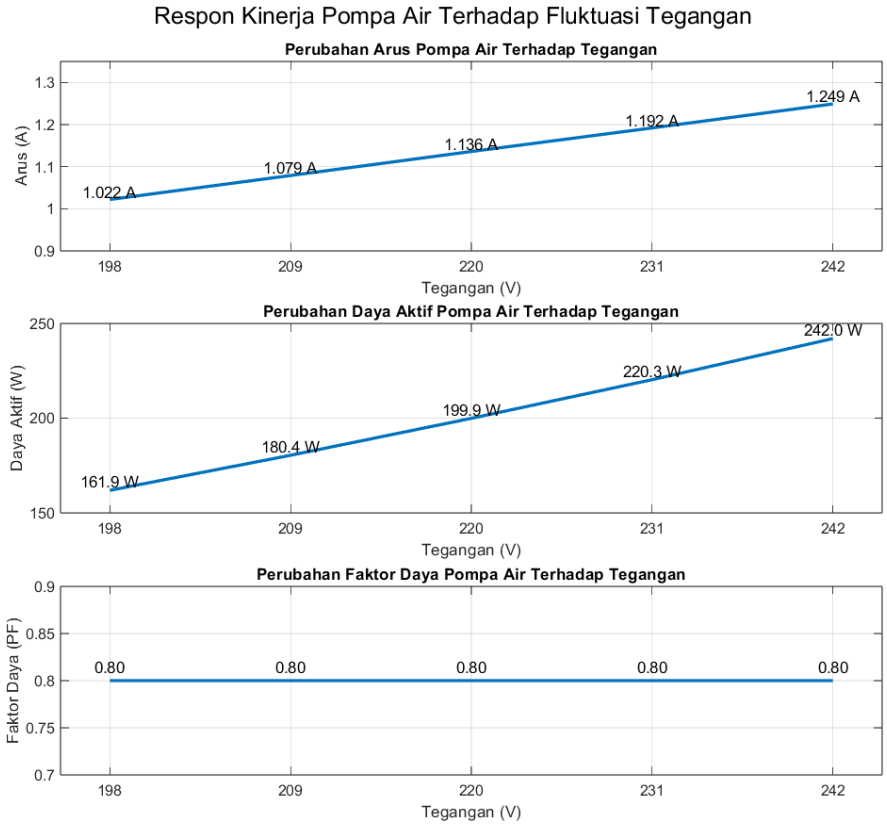
Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan tegangan memberikan pengaruh langsung terhadap kinerja motor kipas angin. Pada kondisi under voltage (198 V), arus yang mengalir sebesar sekitar 0,255 A dengan daya aktif sekitar 40 W. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kondisi normal (220 V), sehingga motor menerima energi listrik yang lebih kecil. Akibatnya, torsi awal dan kecepatan putaran motor cenderung menurun sehingga hembusan angin menjadi lebih lemah. Jika kondisi ini berlangsung dalam waktu lama, motor berpotensi mengalami penurunan efisiensi kerja karena tidak beroperasi pada kondisi tegangan yang dirancang. Hal ini sesuai dengan penelitian [30] yang menyatakan bahwa variasi tegangan pada motor induksi mempengaruhi arus, daya, torsi, kecepatan, dan efisiensi motor.

Ketika tegangan dinaikkan ke 209 V dan 220 V, arus dan daya aktif meningkat secara bertahap hingga mencapai kondisi operasi normal. Pada tegangan normal

220 V, motor bekerja sesuai spesifikasinya dengan daya sekitar 50 W, sehingga putaran motor menjadi stabil dan menghasilkan performa yang optimal.

Pada kondisi over voltage (231–242 V), arus meningkat hingga sekitar 0,313 A, sedangkan daya aktif naik menjadi sekitar 60 W pada tegangan 242 V. Peningkatan ini menunjukkan bahwa motor menyerap energi listrik lebih besar. Dampaknya, putaran motor dapat meningkat sehingga aliran udara menjadi lebih kuat. Namun, konsumsi daya yang lebih tinggi menyebabkan rugi-rugi tembaga (I^2R losses) dan kenaikan suhu lilitan motor. Apabila kondisi over voltage terjadi secara terus-menerus, umur isolasi lilitan motor dapat berkurang dan risiko kerusakan komponen menjadi lebih besar.

Sementara itu, grafik faktor daya (power factor) menunjukkan nilai yang tetap sekitar 0,80 pada seluruh variasi tegangan. Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik beban induktif motor tidak mengalami perubahan yang signifikan meskipun tegangan berubah. Dengan demikian, perubahan kinerja motor pada simulasi ini lebih dipengaruhi oleh peningkatan arus dan daya aktif dibandingkan perubahan faktor daya.



Gambr 4. 33 dampak perubahan kinerja pompa air berbagai kondisi tegangan

Pada tegangan 198 V, arus yang mengalir sebesar 1,022 A, sedangkan daya aktif yang diserap sebesar 161,9 W. Nilai ini merupakan yang terendah dibandingkan kondisi lainnya. Penurunan tegangan menyebabkan energi listrik yang diterima motor pompa berkurang sehingga kemampuan motor menghasilkan torsi juga menurun. Akibatnya, putaran motor menjadi lebih lambat dan debit air yang dihasilkan cenderung menurun. Jika kondisi under voltage berlangsung terus-menerus, motor akan bekerja lebih berat untuk mempertahankan beban sehingga efisiensi operasi pompa dapat menurun.

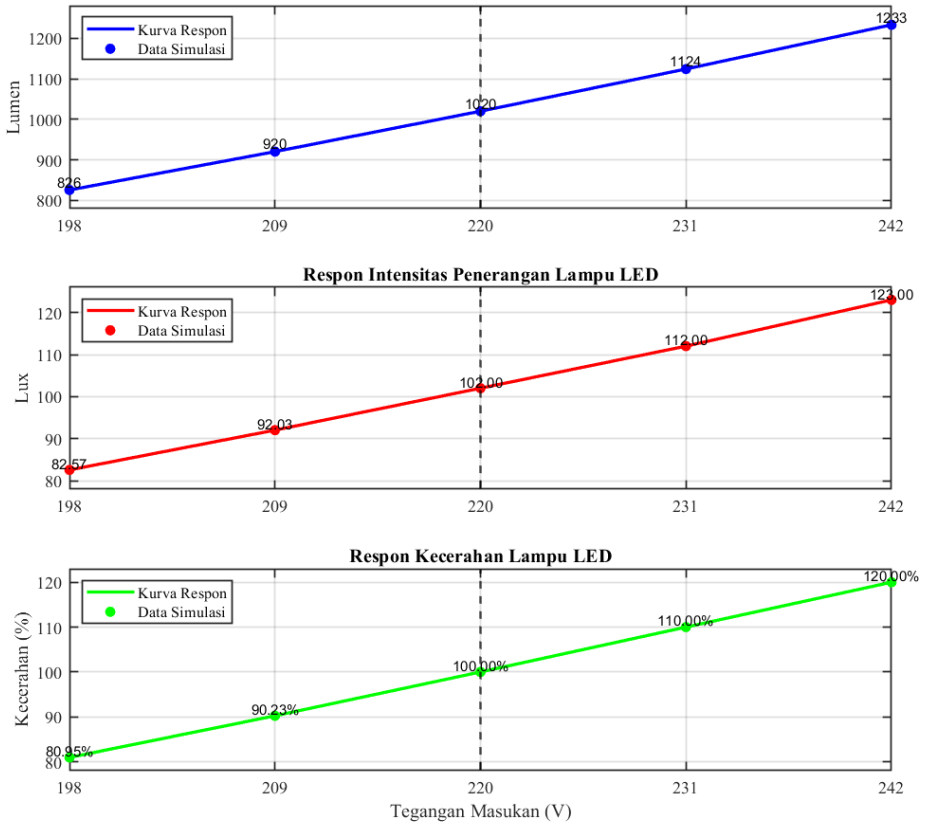
Pada tegangan 209 V, arus meningkat menjadi 1,079 A dan daya aktif naik menjadi 180,4 W. Hal ini menunjukkan bahwa motor mulai memperoleh suplai energi yang lebih baik dibandingkan kondisi under voltage. Kinerja pompa mulai meningkat, ditandai dengan putaran motor yang lebih stabil sehingga kemampuan memompa air juga menjadi lebih baik. Namun, performanya masih sedikit di bawah

kondisi normal. Hal ini sesuai dengan penelitian [30] yang menyatakan bahwa perubahan tegangan suplai mempengaruhi karakteristik motor induksi, termasuk arus, daya, torsi, dan kecepatan putaran

Pada tegangan 220 V, arus mencapai 1,136 A dengan daya aktif sekitar 199,9 W. Kondisi ini menunjukkan bahwa pompa bekerja sesuai spesifikasi desainnya. Motor menghasilkan torsi dan kecepatan putaran yang optimal sehingga debit dan tekanan air yang dihasilkan berada pada kondisi terbaik. Selain itu, konsumsi daya masih berada pada nilai normal sehingga efisiensi kerja pompa lebih baik dibandingkan kondisi under voltage maupun over voltage.

Pada tegangan 231 V, arus meningkat menjadi 1,192 A, sedangkan daya aktif bertambah menjadi 220,3 W. Hal ini menunjukkan bahwa motor menyerap energi listrik lebih besar. Putaran motor dapat meningkat sehingga kemampuan pemompaan air juga bertambah. Namun, peningkatan arus menyebabkan rugi-rugi tembaga (I^2R losses) meningkat sehingga suhu lilitan motor mulai naik. Jika kondisi ini berlangsung dalam waktu lama, umur isolasi motor dapat berkurang. Hal ini sejalan dengan penelitian [30] yang menjelaskan bahwa variasi tegangan pada sistem suplai listrik dapat menyebabkan perubahan terhadap performa motor induksi, seperti perubahan nilai arus, daya masukan, torsi elektromagnetik, serta kecepatan putaran motor.

Pada tegangan 242 V, arus mencapai 1,249 A dan daya aktif meningkat menjadi 242,0 W, yang merupakan nilai tertinggi pada pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa motor bekerja di atas kondisi normal. Walaupun pompa dapat menghasilkan putaran yang lebih tinggi, konsumsi daya menjadi lebih besar sehingga efisiensi energi menurun. Selain itu, kenaikan temperatur motor akibat peningkatan arus dapat mempercepat keausan komponen dan mengurangi umur pakai pompa apabila kondisi over voltage terjadi secara terus-menerus.



Gambr 4. 34 dampak perubahan kinerja lampu led berbagai kondisi tegangan

Berdasarkan Gambar 4.135 dampak perubahan kinerja Lampu LED terhadap Fluktuasi Tegangan, dapat diamati bahwa perubahan tegangan masukan memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja lampu LED. Analisis dilakukan pada lima kondisi tegangan, yaitu 198 V, 209 V, 220 V, 231 V, dan 242 V. Parameter yang dievaluasi meliputi fluks cahaya (lumen), intensitas penerangan (lux), dan tingkat kecerahan (%). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengetahui sejauh mana perubahan tegangan memengaruhi kemampuan lampu

LED dalam menghasilkan cahaya.

Pada kondisi 198 V, lampu LED menghasilkan 826 lumen, 82,57 lux, dan tingkat kecerahan 80,95%. Penurunan keluaran cahaya menunjukkan bahwa tegangan masukan yang lebih rendah mengurangi energi yang diterima oleh driver LED. Driver LED pada dasarnya dirancang bekerja dalam mode arus konstan (constant current) agar arus yang mengalir ke chip LED tetap stabil. Namun, ketika tegangan masukan menurun, kemampuan driver dalam mempertahankan arus keluaran dapat berkurang sehingga fluks cahaya yang dihasilkan juga mengalami penurunan. Fenomena ini sesuai dengan penelitian [36] yang menyatakan bahwa driver LED berfungsi mengubah tegangan AC menjadi DC dan dioperasikan pada mode arus konstan untuk menjaga performa LED serta mencegah kerusakan akibat kondisi operasi yang tidak sesuai.

Ketika tegangan dinaikkan menjadi 209 V, performa lampu LED mulai mengalami peningkatan. Pada kondisi ini diperoleh fluks cahaya sebesar 920 lumen, intensitas penerangan 92,03 lux, dan tingkat kecerahan 90,23%. Dibandingkan dengan kondisi 198 V, terjadi peningkatan sebesar 94 lumen, 9,46 lux, dan hampir 9,28% pada tingkat kecerahan. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan tegangan sebesar 11 V mampu meningkatkan kemampuan driver LED dalam menyuplai arus ke rangkaian LED sehingga jumlah cahaya yang dihasilkan juga meningkat. Namun demikian, keluaran cahaya tersebut masih berada di bawah kondisi normal, sehingga kualitas penerangan belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi kerja lampu LED.

Pada kondisi 220 V, yaitu tegangan normal sistem, lampu LED menunjukkan performa terbaik sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lampu menghasilkan 1020 lumen, 102 lux, dan tingkat kecerahan 100%. Nilai ini dijadikan sebagai acuan pembanding untuk seluruh kondisi pengujian. Pada tegangan normal, driver LED memperoleh suplai tegangan yang sesuai sehingga mampu mengatur arus keluaran secara optimal menuju chip LED. Kondisi tersebut menghasilkan cahaya yang stabil, distribusi pencahayaan yang merata, serta efisiensi kerja yang paling baik. Selain itu, pada kondisi ini suhu kerja komponen elektronik masih berada dalam batas normal sehingga umur pakai lampu dapat dipertahankan sesuai spesifikasi pabrikan.

Peningkatan fluks cahaya pada tegangan 231 V menunjukkan bahwa model lampu LED pada simulasi menghasilkan keluaran cahaya yang lebih tinggi ketika tegangan masukan meningkat. Kondisi tersebut berkaitan dengan karakteristik driver LED yang merespons perubahan tegangan masukan.Penelitian [37] menjelaskan bahwa driver LED dengan arsitektur segmented linear constant current akan menyesuaikan operasi rangkaian LED ketika terjadi perubahan tegangan masukan sehingga efisiensi sistem tetap tinggi dan proses penyalaan LED menjadi lebih optimal. Oleh karena itu, pada model simulasi ini peningkatan tegangan menyebabkan keluaran cahaya meningkat hingga 1124 lumen, intensitas penerangan mencapai 112 lux, dan tingkat kecerahan sebesar 110% dibandingkan kondisi normal.

Pada kondisi 242 V, yang merupakan kondisi overvoltage sekitar 10%, peningkatan performa lampu LED menjadi semakin jelas. Lampu menghasilkan 1233 lumen, 123 lux, dan tingkat kecerahan sebesar 120%. Jika dibandingkan dengan kondisi normal 220 V, terjadi peningkatan fluks cahaya sebesar 213 lumen atau sekitar 20,88%, sedangkan intensitas penerangan meningkat sebesar 21 lux atau sekitar 20,59%. Hasil ini menunjukkan bahwa pada model simulasi, peningkatan tegangan memberikan dampak positif terhadap keluaran cahaya lampu LED. Namun demikian, peningkatan tersebut perlu dianalisis dari sisi keandalan komponen. Pada kondisi nyata, tegangan yang melebihi spesifikasi kerja dapat menyebabkan driver LED bekerja lebih berat sehingga suhu operasi meningkat. Suhu yang lebih tinggi akan mempercepat proses degradasi fosfor LED, menurunkan kualitas chip semikonduktor, mempercepat penuaan kapasitor elektrolit pada driver, dan akhirnya mengurangi umur pakai lampu. Oleh karena itu, meskipun pencahayaan menjadi lebih terang, kondisi overvoltage yang berlangsung terus-menerus tidak disarankan karena dapat menurunkan keandalan sistem pencahayaan.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis menggunakan MATLAB/Simulink terhadap pengaruh fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan rumah tangga, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Karakteristik fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan rumah tangga ditunjukkan oleh perubahan nilai tegangan RMS dari 198 V, 209 V, 220 V, 231 V, hingga 242 V, dengan frekuensi sistem tetap 50 Hz dan bentuk gelombang tetap sinusoidal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan yang terjadi hanya pada amplitudo tegangan, sedangkan nilai THD tegangan dan THD arus berada pada orde 10^{-8}–10^{-6}, sehingga distorsi harmonisa dapat diabaikan. Dengan demikian, karakteristik fluktuasi tegangan pada penelitian ini didominasi oleh perubahan besar tegangan tanpa memengaruhi frekuensi maupun bentuk gelombang.
2. Fluktuasi tegangan memberikan dampak yang berbeda terhadap kinerja setiap jenis beban listrik rumah tangga. Pada beban resistif berupa lampu pijar 60 W, penurunan tegangan menjadi 198 V menyebabkan daya aktif turun dari 60 W menjadi 48,59 W dengan penurunan tingkat pencahayaan dari 700 lumen menjadi 566,9 lumen. Pada kondisi 209 V, daya aktif menjadi 54,15 W dengan pencahayaan 631,4 lumen. Sebaliknya, pada kondisi 231 V dan 242 V, daya aktif meningkat menjadi 66,15 W dan 72,60 W, sedangkan pencahayaan meningkat menjadi 826,3 lumen dan 967,9 lumen. Pada beban setrika 300 W, daya aktif berubah dari 242,95 W (198 V), 270,66 W (209 V), hingga sekitar 300 W pada kondisi nominal, yang menunjukkan bahwa kemampuan menghasilkan panas sangat dipengaruhi oleh perubahan tegangan. Beban induktif seperti kipas angin dan pompa air mengalami perubahan arus, torsi, serta kecepatan putaran ketika tegangan berubah, sedangkan lampu LED menunjukkan perubahan tingkat pencahayaan meskipun masih mampu beroperasi karena adanya rangkaian driver. Hasil tersebut membuktikan bahwa kondisi undervoltage menurunkan performa beban, sedangkan overvoltage meningkatkan daya

dan kinerja beban, namun berpotensi mempercepat penurunan umur peralatan akibat meningkatnya temperatur operasi.

3. Berdasarkan seluruh hasil simulasi, parameter listrik yang paling sensitif terhadap perubahan tegangan adalah daya aktif (P), arus RMS (Irms), dan tegangan RMS (Vrms) karena ketiga parameter tersebut mengalami perubahan yang konsisten pada setiap variasi tegangan. Selain itu, pada beban penerangan terjadi perubahan fluks cahaya (lumen), iluminasi (lux), dan tingkat kecerahan, sedangkan pada beban motor terjadi perubahan torsi dan kecepatan putaran yang secara langsung memengaruhi performa kerja. Sebaliknya, faktor daya pada beban resistif tetap mendekati 1, sedangkan nilai THD tegangan dan THD arus relatif konstan dan sangat kecil. Oleh karena itu, parameter Vrms, Irms, dan daya aktif dapat dijadikan indikator utama dalam mengevaluasi kualitas daya akibat fluktuasi tegangan pada sistem kelistrikan rumah tangga.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan validasi hasil simulasi dengan pengujian secara langsung pada peralatan listrik rumah tangga. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi dengan kondisi nyata sehingga tingkat akurasi model yang digunakan dapat dievaluasi.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model simulasi dengan menambahkan analisis gangguan kualitas daya lainnya, seperti harmonisa, *voltage sag*, *voltage swell*, *flicker*, dan transien, sehingga diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kualitas daya terhadap kinerja beban listrik rumah tangga.
3. Model simulasi yang telah dikembangkan dapat disempurnakan dengan menggunakan parameter beban yang lebih rinci sesuai spesifikasi peralatan serta menambahkan sistem pengendalian atau proteksi tegangan, sehingga hasil simulasi lebih representatif terhadap kondisi operasi sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. A. Noor, H. Ananta, and S. Sunardiyo, “Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 66–73, 2017.

[2] J. T. Elektro and P. N. Jakarta, “Desain akuisisi data kualitas daya listrik,” vol. 15, no. 2, pp. 147–153, 2016.

[3] R. C. Dugan and M. F. Mcgranaghan, “Electrical power systems quality,” *Choice Rev. Online*, vol. 34, no. 01, pp. 34-0322-34–0322, 1996, doi: 10.5860/choice.34-0322.

[4] M. A. Mehanna, S. K. Elsayed, and Y. M. Esmail, “Mitigation of voltage fluctuation in power distribution system using D-STATCOM in Egypt,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 530–536, 2016, doi: 10.11591/ijeecs.v2.i3.pp530-536.

[5] B. H. Abrianto and M. Facta, “Siklus Harmonisa di Pelanggan Rumah Tangga untuk Beban Hibrida,” vol. 5, no. 2, pp. 64–69, 2023.

[6] T. M. T. Thentral, R. Palanisamy, S. Usha, M. Bajaj, H. M. Zawbaa, and S. Kamel, “Analysis of Power Quality issues of different types of household applications,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 5370–5386, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.04.010.

[7] M. System, S. Miš, and W. Walendziuk, “The Estimation of the Influence of Household Appliances on the Power Quality in a”.

[8] A. Bichik, “Impact of Voltage Variation on Domestic and Commercial Loads Thesis supervisor :,” 2015.

[9] G. Sihombing and M. W. Pratama, “Analisis Pengaruh Fluktuasi Sumber Daya Listrik Terhadap Keakuratan Pengukuran Daya Dengan Teknik Pembobotan Di Jaringan Distribusi,” *J. Media Inform.*, vol. 6, no. 3, pp. 1960–1965, 2025.

[10] S. Kualitas, D. Listrik, and P. Quality, “Studi kualitas daya listrik (power quality) di bangunan gedung xyz,” vol. 13, no. 2, 2025.

[11] D. A. I. Rinaldy, “ANALISA PENGGUNAAN FILTER PASIF HARMONISA DENGAN SISTEM STEP TERHADAP BEBAN LISTRIK,” 2025.

[12] L. Siahaan, D. Jurusan, T. Elektro, and U. Darma, “Studi pengaruh flicker pada industri,” vol. VIII, no. 21, pp. 40–54, 2019.

[13] A. Baggini, *Handbook of Power Quality*. 2008. doi: 10.1002/9780470754245.

[14] M. Tyagi, M. I. Khan, and S. Gupta, “A Comprehensive Study of Voltage Swell and Sag in Power Distribution Systems : Characteristics , Causes , Effects , and Mitigation Strategies,” pp. 960–972, 2024.

[15] N. B. G. Brinkel *et al.*, “Electrical Power and Energy Systems Impact of rapid PV fluctuations on power quality in the low-voltage grid and mitigation strategies using electric vehicles,” *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 118, no. October 2019, p. 105741, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105741.

[16] J. J. M. Tambunan, “ANALISIS PENGARUH JENIS BEBAN LISTRIK TERHADAP KINERJA PEMUTUS DAYA LISTRIK DI GEDUNG CYBER JAKARTA: Jumadi, Juara Mangapul Tambunan,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 108–117, 2015.

[17] Emilio, “No Title הארץ”,הכי קשה לראות את מה שבאמת לנגד העינים, vol. 10, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.

[18] R. Listrik, “PENGGUNAAN ARUS SEARAH / DIRECT CURRENT (DC) PADA RANGKAIAN LISTRIK Masringgit Marwiyah Nst Program Studi Teknika , Politeknik Adiguna Maritim Indonesia (POLTEK AMI) Medan,” vol. 6, no. 2, pp. 676–680, 2024.

[19] A. Kurniawan, D. Despa, and M. Komarudin, “Monitoring Besaran Listrik dari Jarak Jauh pada Jaringan Listrik 3 Fasa Berbasis Single Board Computer BCM2835,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 2, no. 3, 2014, doi: 10.23960/jitet.v2i3.529.

[20] D. A. N. Tegangan, L. Menggunakan, A. Matlab, and M. Simulink, “No Title,” vol. 4, no. 3, 2018.

[21] W. N. Agustianingsih, F. Kurniawan, and P. Setiawan, “Analisis Ketepatan Pengukur Daya dan Faktor Daya Listrik Berbasis Arduino Uno R3 328P,” *Aviat. Electron. Inf. Technol. Telecommun. Electr. Control.*, vol. 3, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.28989/avitec.v3i1.794.

[22] M. Putri and I. Pasaribu, “Analisis Kualitas Daya Akibat Beban Reaktansi

Induktif (XL) di Industri," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, p. 82, 2018.

[23] T. W. Nugroho, I. Mustaqim, and A. Sandria Jaya Wardhana, "Studi Kualitas Daya Listrik (Power Quality) Di Bangunan Gedung Xyz," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6563.

[24] J. Grafika and Y. Indonesia, "Studi perbaikan faktor daya beban induktif dengan kompensator reaktif seri menggunakan sakelar pemulih energi magnetik," pp. 125–147.

[25] F. R. Sebayang and A. R. Hasibuan, "ANALISIS PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN RESISTIF , INDUKTIF , KAPASITIF GENERATOR SINKRON 3 FASA MENGGUNAKAN METODE POTTIER," pp. 76–81.

[26] F. I. Pasaribu, I. D. Sara, T. Tarmizi, and N. Nasaruddin, "A New Damped Double-Tuned Filter to Improve Power Quality and System Performance for Nonlinear Household Loads," *IEEE Open Access J. Power Energy*, vol. 13, no. July 2025, pp. 1–1, 2026, doi: 10.1109/oajpe.2026.3652375.

[27] T. Arifianto *et al.*, "Pelatihan Instalasi Listrik Tegangan Rendah untuk Instalasi Listrik Bangunan Sederhana Bagi SMK Negeri 1 Wonoasri Madiun," *Community Dev. J. J. Pengabdi. Masy.*, vol. 4, no. 5, pp. 11264–11271, 2023, [Online]. Available: https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/cdj/article/view/19724

[28] D. I. Stt-pln, "KAJIAN KUALITAS DAYA LISTRIK PLTS SISTEM OFF-GRID," vol. 10, no. 2, pp. 93–101, 2018.

[29] Z. Pelawi, H. Alam, and M. Irwanto, "The Effect Of Source Voltage Fluctuation on Ilumination Decrease In Bandles , Led Lights , and Energy Saving Lights The Effect Of Source Voltage Fluctuation on Ilumination Decrease In Bandles , Led Lights , and Energy Saving Lights," 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012106.

[30] M. Ghaseminezhad, A. Doroudi, S. H. Hosseinian, and A. Jalilian, "Analysis of voltage fluctuation impact on induction motors by an innovative equivalent circuit considering the speed changes," vol. 11, pp. 512–519, 2017, doi: 10.1049/iet-gtd.2016.1063.

[31] D. Adamczak, "SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR," vol. 6988, no. 123, pp. 40–49, 2022, doi: 10.26408/123.04.

[32] S. Load, “Load and harmonic distortion characterization of modern low-energy lighting under applied voltage variation Load and Harmonic Distortion Characterization of Modern Low-Energy Lighting under Applied Voltage Variation,” pp. 124–138, 2019.

[33] S. Abdussamad, “Implementasi Pengukuran Beban Resistif Pada Lampu Pijar,” vol. 4, pp. 83–86, 2022.

[34] D. T. Saputri, A. W. Putri, A. Marfa, and B. Buanasari, “Pengaruh Tegangan Terhadap Besar Kuat Arus Listrik Pada Pengukuran Hukum OHM Berbasis Simulasi Phet HTML5,” vol. 4, 2025.

[35] S. Shonazarova, S. S. Tavarov, and A. I. Sidorov, “Voltage Deviation Influence on Electric Sizes of Lighting Lamps,” vol. 1, no. 1, pp. 27–32, 2023, doi: 10.56947/jmer.v1i1.1.

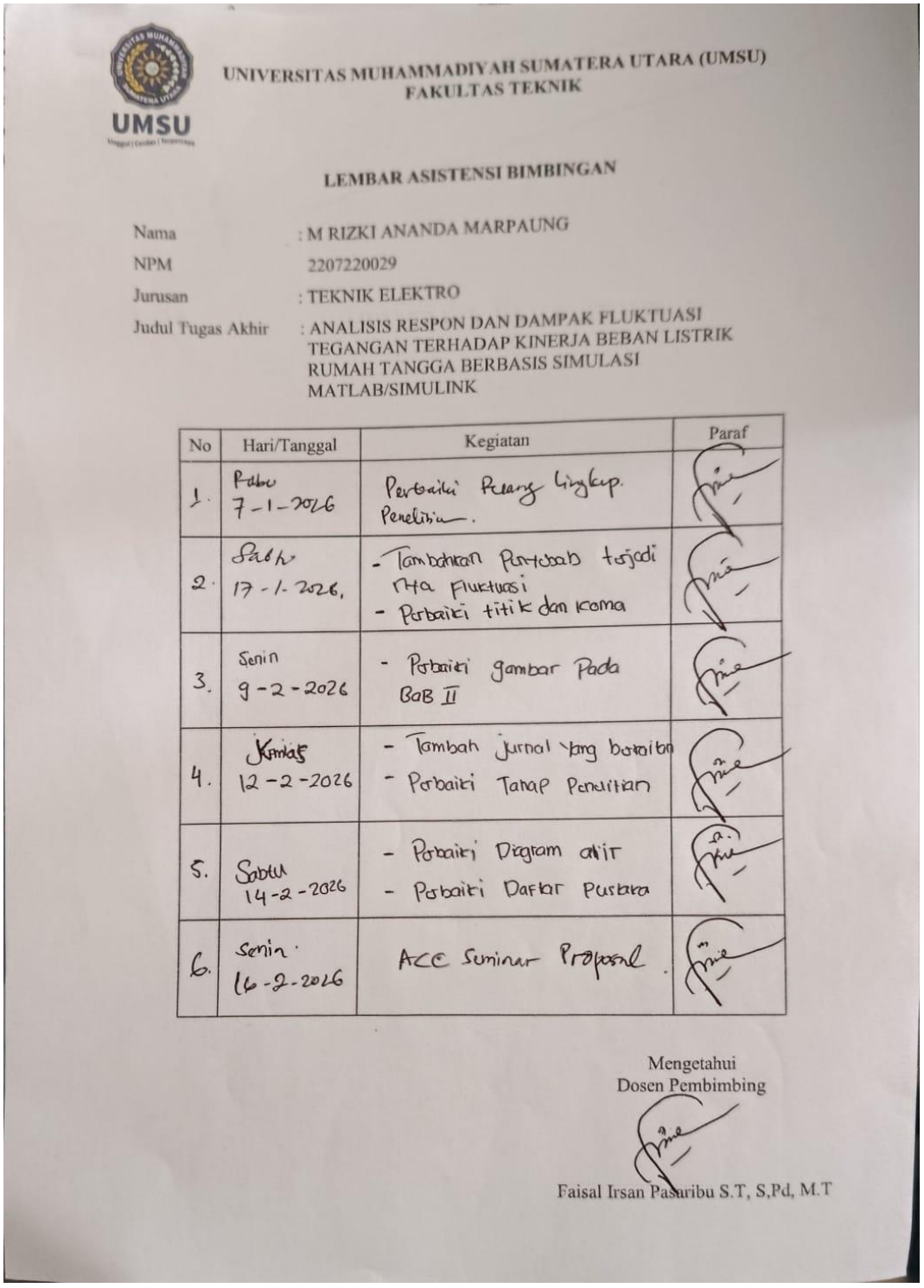
[36] S. W. Hidayat, H. W. Nugroho, and T. A. Wahyu, “Design of Medium Power AC-DC Flyback LED Driver,” vol. 11, no. 1, pp. 13–24, 2021, doi: 10.22146/ijeis.52896.

[37] L. Yongyuan, G. Wei, and Z. Zhangming, “A high efficiency and power factor , segmented linear constant current LED driver,” vol. 36, no. 4, pp. 1–7, 2015, doi: 10.1088/1674-4926/36/4/045010.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama	: M Rizky Ananda Marpaung
Tempat /Tanggal Lahir	: Sei Kepayang Tengah 28 Oktober 2002
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Umur	: 23 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Kawin
Tinggi Badan/Berat Badan	: 170 cm/63Kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dusun x, Sei Kepayang Tengah
No.Hp	: 083128822685
Email	: marpaungnanda5@gmail.com
Latar Belakang Pendidikan	
SDN 014639 Sei Kepayang	: 2009-2015
MTS Sei Kepayang	: 2015-2018
MA Sei Kepayang	: 2018-2021
Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, Teknik Elektro	: 2022-2026



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK

UMSU

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

Nama : M RIZKI ANANDA MARPAUNG
NPM 2207220029
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Judul Tugas Akhir : ANALISIS RESPON DAN DAMPAK FLUKTUASI TEGANGAN TERHADAP KINERJA BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS SIMULASI MATLAB/SIMULINK

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Rabu 7-1-2026	Perbaiki Perang Lingkup Penelitian.	
2.	Sabtu 17-1-2026,	- Tambahkan Penyebab terjadi nya Fluktuasi - Perbaiki titik dan koma	
3.	Senin 9-2-2026	- Perbaiki gambar Pada BAB II	
4.	Kamis 12-2-2026	- Tambah Jurnal yang berairan - Perbaiki Tahap Penelitian	
5.	Sabtu 14-2-2026	- Perbaiki Diagram alir - Perbaiki Daftar Pustaka	
6.	Senin 16-2-2026	ACC Seminar Proposal	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu S.T, S,Pd, M.T

Lampiran 5. 1 lembar asistensi seminar proposal

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : M RIZKY ANANDA MARPAUNG
NPM 2207220029
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Judul Tugas Akhir : ANALISIS RESPON DAN DAMPAK FLUKTUASI TEGANGAN TERHADAP KINERJA BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS SIMULASI MATLAB/SIMULINK

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Rabu 15 Juli 2026	• Sesuaikan variasi tegangan menuruti jurnal • Membuat penjelasan tentang angka angka pada simulasi	
2	Selasa 21 juli 2026	• Membuat abstrak • membuat bab 5	
3	Jumat 24 juli 2026	• Perbaiki asbtrak • Perbaiki daftar pustaka	
4	Senin 27 juli 2026	• Perbaiki keterangan gambar • Perbaiki bab 5	
5	Rabu 29 juli 2026	• Perbaiki no halaman • Perbaiki daftar isi	
6	Jumat 31 april 2026	• Acc semhas	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

DR. FAISAL IRSAN PASARIBU, ST., S.PD., M.T

Lampiran 5. 2 lembar asistensi seminar hasil

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : M RIZKY ANANDA MARPAUNG

NPM 2207220029

Jurusan : TEKNIK ELEKTRO

Judul Tugas Akhir : ANALISIS RESPON DAN DAMPAK FLUKTUASI TEGANGAN TERHADAP KINERJA BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS SIMULASI MATLAB/SIMULINK

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Rabu 18 Agustus 2026	• Menyatukan grafik arus dan tegangan . • Memperbaiki rumus nya menjadi paralel.	
2	Jumat 20 agustus 2026	• Acc sidang	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

DR. FAISAL IRSAN PASARIBU, ST., S.PD., M.T

Lampiran 5. 3 Lembar asistensi sidang skripsi