

Prototipe Penstabil Tegangan Listrik Berbasis ESP32 dengan Transformator *Center Tap* (CT) dan Monitoring via Blynk untuk Perangkat Elektronik Rumah Tangga

Nicholas Adrian Mahardika¹, Joko Purnomo², dan Alona Situmeang³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro Universitas Gunadarma

^{1,2,3}Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat

e-mail: ¹nicholasadrian4337@gmail.com, ²jokopurn@staff.gunadarma.ac.id,

³alona@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak—Fluktuasi tegangan listrik PLN sering menyebabkan kondisi *undervoltage* di bawah standar SNI (198–242 V) yang dapat menurunkan kinerja dan merusak perangkat elektronik rumah tangga. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe penstabil tegangan otomatis satu fasa yang mampu menaikkan tegangan rendah agar mendekati 220 V serta dapat dipantau melalui aplikasi pada *smartphone*. Prototipe menggunakan sensor PZEM-004T untuk mendeteksi tegangan sebagai acuan pengendalian, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, Trafo Center Tap (CT) yang dikonfigurasi seri sebagai *booster* untuk menstabilkan tegangan, serta Relay sebagai selektor tap output. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan input 170–220 V, dan hasil menunjukkan bahwa pada input 170 V, keluaran dapat distabilkan menjadi 224,9 V. Nilai ini masih berada dalam rentang toleransi $\pm 10\%$ dari tegangan nominal 220 V. Berdasarkan hasil tersebut, prototipe yang dibuat terbukti mampu menjaga kestabilan tegangan pada kondisi *undervoltage* dan memberikan keluaran yang aman bagi perangkat elektronik rumah tangga.

Kata kunci: AVR, ESP32, Sensor PZEM-004T, Trafo Center Tap.

Abstract—Fluctuations in PLN electricity voltage often cause *undervoltage* conditions below the SNI standard (198–242 V), which can reduce performance and damage household electronic devices. This study aims to design a single-phase automatic voltage stabilizer prototype that is capable of increasing low voltage to approach 220 V and can be monitored through a *smartphone* application. The prototype uses a PZEM-004T sensor to detect voltage as a control reference, an ESP32 microcontroller as the control center, a Center Tap (CT) transformer configured in series as a *booster* to stabilize the voltage, and a relay as an output tap selector. Testing was conducted with input voltage variations of 170–220 V, and the results showed that at an input of 170 V, the output could be stabilized at 224.9 V. This value is still within the $\pm 10\%$ tolerance range of the nominal voltage of 220 V. Based on these results, the prototype proved capable of maintaining voltage stability under *undervoltage* conditions and providing a safe output for household electronic devices.

Keywords: AVR, ESP32, PZEM-004T sensor, Center tap transformer.

I. PENDAHULUAN

Tegangan listrik merupakan faktor penting dalam menjamin kinerja dan ketahanan perangkat elektronik rumah tangga. Di Indonesia, Perusahaan Listrik Negara (PLN) menyediakan suplai tegangan dengan nilai nominal 220 Volt AC pada frekuensi 50 Hz untuk pelanggan rumah tangga. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-0227-2003, tegangan listrik dianggap masih dalam kondisi normal apabila berada dalam rentang $\pm 10\%$ dari nilai nominal, yaitu antara 198 Volt hingga 242 Volt.[1]

Kondisi di beberapa wilayah, terutama daerah yang berdekatan dengan kawasan industri, tegangan listrik sering mengalami fluktuasi yang signifikan dan tidak lagi berada dalam rentang yang diperbolehkan. Hasil pengukuran di salah satu wilayah pinggiran industri menunjukkan bahwa pada pagi hari tegangan listrik hanya mencapai 200 Volt, kemudian menurun hingga 190 Volt saat siang hari, dan bahkan dapat turun drastis hingga 170 Volt pada malam

hari. Nilai-nilai tersebut jauh di bawah batas toleransi yang ditetapkan dan berpotensi menimbulkan kerusakan pada peralatan elektronik seperti televisi, kulkas, pendingin ruangan, serta perangkat rumah tangga lainnya.

Kondisi *undervoltage* yang berulang dapat menurunkan efisiensi dan mempercepat kerusakan perangkat elektronik, sehingga diperlukan solusi berupa alat penstabil tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator*/AVR) yang mampu menjaga tegangan tetap berada dalam batas aman. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah penstabil tegangan berbasis mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi pemantauan tegangan *real-time* melalui jaringan nirkabel. Alat ini mengatur pemilihan tap pada transformator center tap (CT) menggunakan modul relay sesuai kondisi tegangan input, sehingga mampu menaikkan tegangan rendah agar mendekati nilai nominal 220 Volt. Dengan integrasi pemantauan melalui *smartphone*, alat ini diharapkan dapat

memberikan kestabilan tegangan sekaligus kemudahan dalam memonitor kondisi suplai listrik rumah tangga.

II. STUDI PUSTAKA

A. Tegangan Listrik

Menurut SNI 04-0227-2003, tegangan listrik dinyatakan normal apabila berada pada rentang $\pm 10\%$ dari nominal 220 Volt, yaitu 198–242 Volt. Pada praktiknya, tegangan PLN sering berfluktuasi, terutama di daerah dekat kawasan industri, dengan nilai yang dapat turun hingga 170 Volt pada malam hari.[1] Kondisi *undervoltage* menyebabkan peningkatan arus dan kerja berlebih pada peralatan elektronik, terutama perangkat berbasis *switching* (SMPS), yang memicu panas berlebih, distorsi harmonisa, dan risiko kerusakan komponen. [2]-[3] Sebaliknya, *overvoltage* (>242 Volt) dapat menyebabkan tekanan berlebih pada komponen semikonduktor dan kapasitor, hingga risiko arc flash dan kegagalan dielektrik.[4] Oleh karena itu, pengendalian tegangan menjadi aspek krusial dalam menjaga keandalan perangkat listrik rumah tangga.

B. Penstabil Tegangan (Voltage Stabilizer / AVR)

Penstabil tegangan berfungsi menjaga agar tegangan tetap berada dalam batas aman ketika terjadi *undervoltage* maupun *overvoltage*. AVR berperan untuk menaikkan tegangan rendah agar mendekati nilai nominal 220 Volt. Prinsip kerja AVR melibatkan pemantauan tegangan input secara *real-time*, kemudian mengalihkan jalur keluaran melalui tap transformator yang sesuai untuk menyesuaikan tegangan keluaran agar stabil. AVR berbasis mikrokontroler mengintegrasikan sensor digital seperti PZEM-004T dan modul relay untuk melakukan koreksi tegangan secara otomatis dan berulang (*looping*) sehingga tegangan keluaran tetap berada dalam rentang standar PLN.[5]

C. Aplikasi Blynk untuk Monitoring IoT

Blynk merupakan platform IoT yang memungkinkan pemantauan dan kontrol perangkat secara *real-time* melalui *smartphone*. Blynk digunakan untuk menampilkan parameter input-output seperti tegangan, arus, dan daya melalui virtual pin V0–V5. Data dari ESP32 dikirim melalui WiFi sehingga pengguna dapat memantau proses stabilisasi tegangan kapan saja. Integrasi ini menjadikan alat lebih modern, responsif, dan mudah digunakan tanpa alat ukur tambahan. [6]-[7]

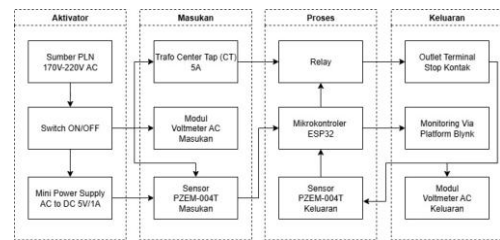
III. METODE

A. Blok Diagram

Blok diagram alat ini menggambarkan alur kerja penstabil tegangan yang berfungsi menyesuaikan fluktuasi tegangan PLN agar tetap berada dalam batas aman. Koreksi tegangan dilakukan secara otomatis melalui pemilihan tap pada transformator center tap (CT) berdasarkan logika kendali mikrokontroler ESP32. Alat ini dibagi menjadi empat blok utama, yaitu blok aktivator, blok masukan, blok proses, dan blok keluaran.

Gambar 1 memperlihatkan pembagian blok pada alat yang dibuat. Setiap blok memiliki peran tersendiri dan saling terhubung satu sama lain, mulai dari pembacaan kondisi tegangan, pengolahan keputusan pemilihan tap,

hingga penyaluran tegangan yang telah dikoreksi. Melalui pembagian ini, alur kerja alat dapat dijelaskan secara terstruktur dan memudahkan pengguna dalam memahami cara kerja penstabil tegangan yang diusulkan.



Gambar 1 Blok Diagram Alat

1) Blok Aktivator

Blok aktivator berfungsi sebagai bagian awal yang menerima tegangan PLN dalam rentang 170–220 Volt AC. Tegangan masuk terlebih dahulu melalui saklar sebagai penghubung atau pemutus utama alat. Setelah melewati saklar, tegangan PLN diarahkan ke modul catu daya mini AC to DC 5V/1A. Modul ini menghasilkan tegangan DC 5 Volt yang diperlukan untuk mikrokontroler ESP32, modul relay, dan sensor PZEM-004T. Melalui blok aktivator, seluruh komponen memperoleh suplai daya yang stabil sehingga rangkaian dapat beroperasi sesuai fungsinya.

2) Blok Masukan

Blok Melalui blok aktivator, tegangan dari sumber PLN akan diteruskan ke blok masukan. Pada bagian ini, beberapa komponen bekerja untuk mengamati kondisi awal dan mempersiapkan proses penyesuaian tegangan lebih lanjut.

a) Trafo Center Tap (CT)

Trafo center tap (CT) pada dasarnya bekerja sebagai trafo *step-down*, yaitu mengubah tegangan besar dari PLN menjadi tegangan yang lebih kecil. Rancangan menggunakan dua buah trafo CT yang disusun secara seri untuk memperluas rentang koreksi tegangan. Trafo pertama menerima suplai langsung dari PLN, sedangkan trafo kedua memperoleh masukan dari tap sekunder trafo pertama. Kedua transformator memiliki konfigurasi lilitan 12 V – 0 V – 12 V, di mana titik 0 V berfungsi sebagai center tap yang memisahkan dua lilitan dengan beda fasa sebesar 180° . [8]

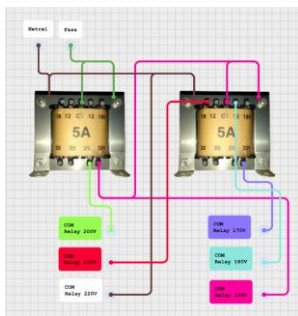
Beda fasa ini menghasilkan dua kondisi operasi utama. Pada kondisi pertama, ketika lilitan sekunder yang digunakan memiliki fasa yang sama dengan sisi primer, tegangan dari lilitan tersebut akan ikut menambah tegangan PLN. Fenomena ini dikenal sebagai booster, yang menghasilkan keluaran lebih tinggi dari tegangan masuk. Sebaliknya, ketika lilitan sekunder yang diaktifkan memiliki polaritas berlawanan fasa, tegangan lilitan tersebut akan mengurangi nilai tegangan utama. Kondisi ini disebut sebagai buck, dan menghasilkan keluaran yang lebih rendah dari input PLN. Kedua prinsip tersebut menjadi dasar kerja penyesuaian tegangan menggunakan trafo CT. [9]

Dengan prinsip tersebut, nilai 12 V, 18 V, 25 V, atau 32 V dari tap dapat ditambahkan atau dikurangkan terhadap tegangan PLN, tergantung kondisi input yang terdeteksi oleh ESP32. Konsep ini memungkinkan alat memperbaiki

tegangan tanpa konversi elektronik kompleks, hanya melalui pemilihan tap dan perubahan polaritas fasa.

Pada konfigurasi alat, salah satu jalur primer dihubungkan ke center tap sekunder untuk membentuk rangkaian seri yang menghasilkan efek buck/booster. Output sekunder 32 V dari trafo pertama digunakan sebagai suplai primer trafo kedua. Setelah itu, trafo kedua bekerja dengan prinsip yang sama: jalur fase pada primer dihubungkan ke center tap sekunder, dan keluaran diambil dari jalur primer lainnya serta salah satu tap sekunder.

Tap-tap trafo kemudian dihubungkan ke modul relay 6 channel, masing-masing mewakili nilai tegangan koreksi: 170 V, 180 V, 190 V, 200 V, 210 V, hingga 220 V bypass. Kombinasi dua trafo CT ini memungkinkan penyesuaian tegangan secara bertahap, sehingga alat dapat tetap memberikan tegangan stabil meskipun input PLN berada pada kondisi undervoltage yang signifikan.



Gambar 2 Trafo dengan hubung Relay

b) Modul Voltmeter AC Input

Pada bagian masukan juga dipasang modul voltmeter AC. Komponen ini berfungsi untuk menampilkan kondisi tegangan PLN secara langsung di alat. Dengan adanya voltmeter, pengguna bisa memantau besarnya tegangan masukan secara cepat dan mudah tanpa perlu menggunakan alat ukur tambahan.

c) Sensor Tegangan PZEM-004T Input

Sensor tegangan PZEM-004T input ditempatkan pada jalur masuk sebelum trafo. Sensor ini berfungsi untuk membaca nilai tegangan PLN yang masih berfluktuasi. Informasi dari sensor ini dipakai sebagai dasar pengendalian dalam pemilihan keluaran trafo melalui relay, sehingga tegangan yang diteruskan ke blok berikutnya lebih terjaga kestabilannya. Pada alat ini, dua modul PZEM dipasang secara terpisah sensor pertama mengukur tegangan sebelum proses penyesuaian pada transformator, sedangkan sensor kedua mengukur tegangan hasil keluaran. Data yang diperoleh mencakup nilai tegangan, arus, dan daya, kemudian dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi UART sebagai dasar pengambilan keputusan pemilihan tap.

3) Blok Proses

Blok proses merupakan bagian yang bertugas mengatur serta mengendalikan alat agar dapat bekerja sesuai tujuan. Pada blok ini terdapat beberapa komponen utama yang saling terhubung, yaitu relay, mikrokontroler ESP32, dan sensor tegangan PZEM-004T pada jalur keluaran.

a) Relay

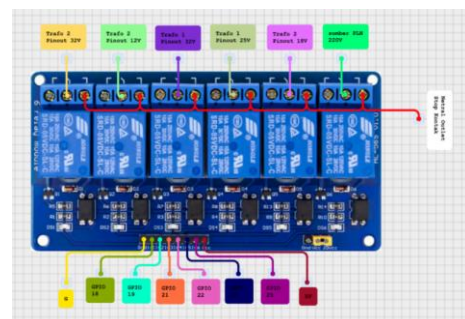
Relay berfungsi sebagai pengalih jalur yang menentukan tap transformator mana yang harus diaktifkan sesuai kondisi tegangan masukan. Pada alat ini digunakan modul

relay 6 channel yang masing-masing mewakili satu nilai koreksi tegangan, mulai dari 170 V hingga 220 V (bypass). Pemilihan tap dilakukan berdasarkan hasil pembacaan sensor PZEM-004T pada sisi input, kemudian diproses oleh ESP32. Dengan pendekatan ini, hanya satu relay yang dapat aktif pada satu waktu untuk mencegah konflik jalur dan memastikan setiap perpindahan tap berlangsung aman.

Untuk mencegah terjadinya perpindahan relay secara cepat (*chattering*) akibat fluktuasi tegangan di sekitar batas switching, pada ESP32 menerapkan mekanisme histeresis (*deadband*) pada logika pemrograman. Mekanisme ini memberikan batas toleransi tambahan sekitar 2–3 Volt sebelum relay diizinkan berpindah ke kondisi sebelumnya. Sebagai contoh, ketika tegangan naik dari 179 Volt menuju 180 Volt, sistem akan berpindah dari Relay 1 ke Relay 2. Namun apabila tegangan kembali turun ke 179,9 Volt, relay tidak langsung kembali ke Relay 1 karena program menahan perpindahan hingga tegangan benar-benar melewati batas histeresis yang ditentukan. Selain itu, pembacaan sensor dilakukan secara periodik dengan interval tertentu sehingga perubahan kecil tegangan tidak langsung memicu perpindahan relay. Dengan metode ini, perpindahan relay menjadi lebih stabil, mengurangi osilasi switching, serta membantu memperpanjang umur mekanis kontak relay.

Setiap relay terhubung ke nilai tap tertentu dari dua transformator CT yang digunakan. Tap dengan nilai tegangan rendah diaktifkan ketika PLN berada pada kondisi undervoltage, sedangkan relay bypass diaktifkan ketika tegangan PLN sudah berada dalam rentang normal. Mekanisme ini memungkinkan perubahan tegangan berlangsung otomatis dan berlapis, sehingga output tetap stabil dalam rentang yang aman.

Konfigurasi hubungan antara relay dan ESP32 dijelaskan melalui enam jalur GPIO yang masing-masing mengontrol satu channel relay. Relay 1 hingga relay 5 berfungsi sebagai selektor tap koreksi, sedangkan relay 6 berfungsi sebagai jalur bypass yang menghubungkan beban langsung ke sumber apabila tegangan input sudah berada pada nilai nominal. Informasi tegangan real-time dari sensor input menjadi dasar ESP32 dalam menentukan relay mana yang harus diaktifkan, sehingga proses switching berlangsung secara otomatis, berulang, dan responsif terhadap perubahan yang terjadi pada tegangan PLN.



Gambar 1: 3 Konfigurasi Relay

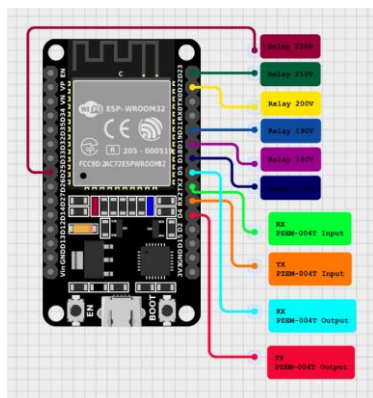
b) Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur keseluruhan proses penyesuaian tegangan. ESP32 menerima data tegangan dari sensor PZEM-004T pada sisi input dan memprosesnya untuk menentukan kondisi tegangan PLN. Berdasarkan nilai yang terbaca, ESP32 memilih relay yang sesuai untuk mengaktifkan tap

transformator yang dibutuhkan. Mekanisme ini memungkinkan proses penyesuaian tegangan berlangsung secara otomatis tanpa intervensi manual.

Selain mengatur switching relay, ESP32 juga menghubungkan alat dengan aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Nilai tegangan input dan output dikirimkan melalui Virtual Pin sehingga pengguna dapat memantau kondisi alat secara real-time melalui smartphone. Dengan peran ini, ESP32 tidak hanya bertindak sebagai pengendali logika, tetapi juga sebagai penghubung antara perangkat fisik dan platform monitoring berbasis internet.

Konfigurasi pin pada ESP32 menghubungkan beberapa modul secara simultan, yaitu enam relay sebagai selektor tap, dua sensor PZEM-004T sebagai pembaca input-output, dan modul Wi-Fi internal yang mendukung pengiriman data ke aplikasi Blynk. Setiap relay dikontrol melalui pin GPIO tertentu, dengan hanya satu relay yang dapat aktif pada satu waktu untuk menjaga keamanan switching. Dua sensor PZEM ditempatkan masing-masing pada sisi input dan output, memberikan referensi tegangan yang akurat sehingga ESP32 dapat menentukan tindakan koreksi yang tepat.



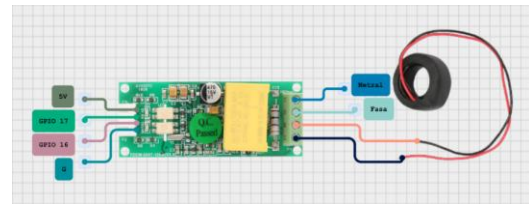
Gambar 1: 4 Pin Mikrokontroler ESP32

c) Sensor Tegangan PZEM-004T Output

Sensor PZEM-004T yang terpasang pada sisi keluaran berfungsi untuk memantau tegangan setelah melalui proses penyesuaian oleh relay dan trafo. Data dari sensor ini menjadi bahan evaluasi untuk memastikan bahwa hasil keluaran benar-benar stabil.

Sensor PZEM-004T digunakan untuk membaca parameter kelistrikan baik pada sisi input maupun output. Penggunaan dua sensor sekaligus memberikan keuntungan berupa kemampuan verifikasi input-output secara langsung. ESP32 tidak hanya mengetahui kondisi tegangan yang masuk, tetapi juga dapat memastikan bahwa keluaran berada dalam rentang aman setelah proses penyesuaian. Sensor ini menjadi salah satu elemen penting yang memastikan ketepatan pembacaan dan kestabilan proses kontrol.

Konfigurasi pin antara ESP32 dan dua modul PZEM-004T dijelaskan dalam tabel koneksi. Sensor PZEM pada sisi input menggunakan pin GPIO 16 (RX) dan GPIO 17 (TX), sedangkan sensor pada sisi output menggunakan pin GPIO 5 (RX) dan GPIO 4 (TX). Pemisahan jalur komunikasi ini memastikan bahwa masing-masing sensor dapat bekerja secara independen tanpa gangguan data.



Gambar 5 Pin Sensor PZEM-004T

4) Blok Keluaran

Blok keluaran merupakan bagian akhir dari keseluruhan alat. Pada bagian ini, hasil pengolahan tegangan dari blok sebelumnya. Keluaran berfungsi tidak hanya untuk menyalurkan daya listrik kepada beban, tetapi juga untuk memberikan informasi kepada pengguna terkait kondisi tegangan hasil pengaturan. Terdapat tiga komponen utama pada blok keluaran, yaitu outlet terminal stop kontak, monitoring melalui Blynk, dan modul voltmeter AC output.

a) Outlet Terminal Stop Kontak

Outlet terminal stop kontak digunakan sebagai jalur akhir penyaluran tegangan yang telah diatur melalui relay. Beban listrik seperti peralatan rumah tangga dapat dihubungkan ke terminal ini sehingga menerima suplai tegangan keluaran yang stabil.

b) Monitoring Blynk

Blynk merupakan platform Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian perangkat secara real-time melalui aplikasi smartphone. Dalam alat penstabil tegangan otomatis ini, Blynk digunakan sebagai antarmuka monitoring untuk menampilkan data tegangan dari sensor PZEM-004T yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Data yang dimonitor mencakup tegangan input dari PLN, dan tegangan output hasil penstabilan yang divisualisasikan dalam bentuk widget pada aplikasi Blynk.

c) Modul Voltmeter AC Output

Modul voltmeter AC output berfungsi untuk menampilkan besarnya tegangan keluaran secara langsung pada alat. Dengan adanya tampilan ini, pengguna dapat segera mengetahui nilai tegangan yang tersedia pada stop kontak tanpa menggunakan alat ukur eksternal tambahan. Salah satu tipe yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah MET-0046, modul ini dilengkapi dengan tampilan 7-segmen 3-digit, terkalibrasi untuk langsung mengukur tegangan listrik rumah tangga yang mampu mengukur tegangan dalam rentang 60 Volt hingga 500 Volt AC

B. Diagram Alir

Berikut merupakan pembahasan langkah-langkah program berdasarkan diagram alir pada Gambar 6 Proses kerja alat penstabil tegangan ini diawali dengan pengecekan koneksi terhadap sumber tegangan AC. Jika alat tidak terhubung dengan sumber, maka alat tidak akan aktif dan langsung berhenti pada kondisi tidak bekerja. Namun, apabila alat terhubung dengan sumber tegangan, maka proses dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Pada tahap inisialisasi, seluruh komponen utama mulai diaktifkan. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk membaca parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya. Mikrokontroler ESP32 bertugas sebagai pusat kendali yang memproses data dari sensor dan menentukan perintah untuk eksekusi. Modul relay berperan sebagai selektor yang menghubungkan jalur tap transformator sesuai instruksi

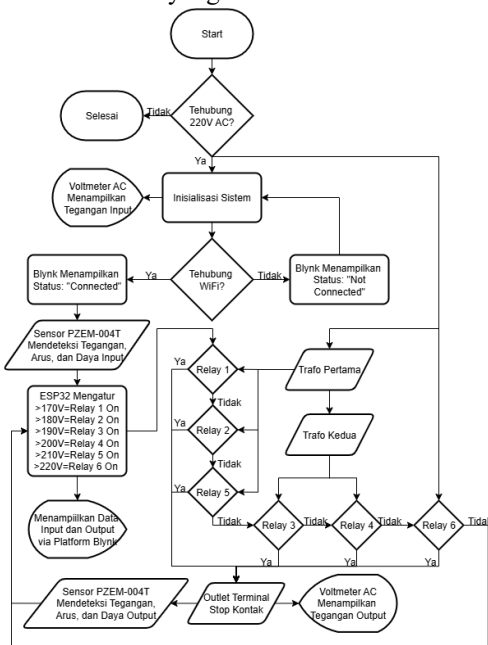
dari ESP32. Sementara itu, dua buah transformator center tap (CT) dikonfigurasi dalam bentuk seri untuk melakukan penyesuaian tegangan, baik peningkatan (booster) maupun penurunan (buck). Selain itu, koneksi WiFi juga diaktifkan agar alat dapat berkomunikasi dengan aplikasi Blynk.

Voltmeter AC yang terpasang pada perangkat menampilkan tegangan sumber PLN secara langsung sebesar 220 Volt. Pada tahap ini, dilakukan pula pemeriksaan koneksi WiFi. Jika jaringan belum terhubung, aplikasi Blynk akan menampilkan status Not Connected. Namun, jika koneksi berhasil, status akan berubah menjadi Connected, dan ESP32 mulai mengirimkan data pembacaan sensor PZEM-004T ke Blynk secara real-time, meliputi tegangan, arus, dan daya listrik.

Sensor PZEM-004T pada sisi input membaca nilai tegangan PLN sebagai acuan pemilihan tap. Berdasarkan data tegangan tersebut, mikrokontroler ESP32 akan mengaktifkan salah satu relay sesuai dengan rentang yang ditentukan. Jika tegangan berada pada 166–179,9 Volt maka relay 1 aktif, jika rentang 180–189,9 Volt mengaktifkan relay 2, jika rentang 190–199,9 Volt mengaktifkan Relay 3, jika rentang 200–209,9 Volt mengaktifkan relay 4, jika rentang 210–219,9 Volt mengaktifkan relay 5, sedangkan jika tegangan berada pada 220–241,9 Volt maka relay 6 aktif, langsung masuk ke mode bypass menuju beban. Hanya satu relay yang aktif dalam satu waktu untuk menghindari hubungan rangkap.

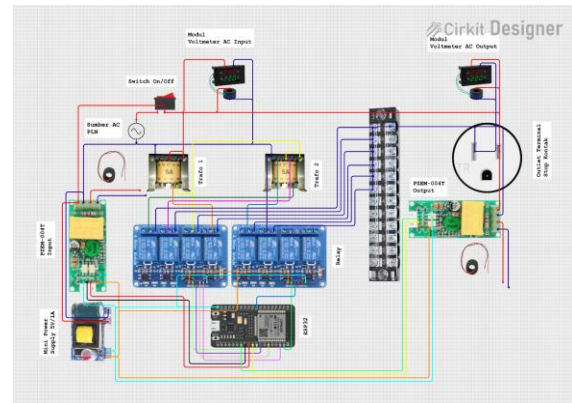
Setelah tap terhubung ke beban, proses monitoring keluaran dilakukan melalui dua tahap. Pertama, voltmeter AC output menampilkan nilai tegangan keluaran secara langsung pada perangkat. Kedua, sensor PZEM-004T output kembali mengukur parameter tegangan, arus, dan daya untuk memastikan hasil stabilisasi sesuai kebutuhan.

Akhirnya, tegangan yang telah distabilkan dialirkan ke outlet terminal stop kontak sebagai jalur distribusi untuk perangkat elektronik rumah tangga. Selama alat tetap memperoleh suplai listrik, siklus kerja ini berlangsung secara berulang dan otomatis, mulai dari pembacaan input, pemilihan tap, penyaluran ke beban, hingga monitoring. Dengan cara ini, alat alat menjaga agar tegangan output berada dalam kondisi yang aman dan stabil.



Gambar 6 Diagram Alir Alat

C. Analisa Rangkaian Skematik Alat



Gambar 7 Skematik Rangkaian Keseluruhan Alat

Analisa rangkaian skematik pada alat penstabil tegangan ini menjelaskan hubungan antara sumber PLN, dua buah transformator center tap (CT), modul relay, dua sensor PZEM-004T, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Tegangan PLN masuk melalui saklar dan dibagi ke voltmeter AC input serta sensor PZEM-004T input yang terhubung melalui jalur komunikasi UART menggunakan pin GPIO 16 (RX) dan GPIO 17 (TX). Data input ini menjadi dasar pemilihan tap pada kedua transformator CT yang disusun secara seri, di mana trafo pertama menerima suplai langsung dari PLN dan trafo kedua memperoleh masukan dari tap 32 V trafo pertama. Konfigurasi lilitan 12 V – 0 V – 12 V dengan beda fasa 180° memungkinkan terjadinya penambahan atau pengurangan tegangan (booster dan buck) dengan memilih tap yang sesuai. Tap-tap sekunder dari kedua trafo dihubungkan ke modul relay 6 channel, yang masing-masing dikendalikan oleh pin GPIO 18, 19, 21, 22, 23, dan 25 pada ESP32. Relay tersebut bertugas memilih jalur tegangan 170 V, 180 V, 190 V, 200 V, 210 V, atau mode bypass 220 V. Setelah tegangan disesuaikan, keluaran diteruskan ke voltmeter AC output dan sensor PZEM-004T output yang menggunakan pin GPIO 5 (RX) dan GPIO 4 (TX) untuk mengirimkan data parameter listrik kembali ke ESP32. Seluruh data dari kedua sensor kemudian dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui koneksi Wi-Fi, memanfaatkan Virtual Pin V0–V5 untuk menampilkan parameter input dan output. Dengan rangkaian ini, ESP32 melakukan pembacaan, pemilihan tap, verifikasi output, serta pengiriman data ke Blynk secara berulang, sehingga tegangan keluaran tetap berada dalam batas aman dan dapat dipantau secara real-time.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tegangan Sumber

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi tegangan sumber dari PLN yang akan digunakan pada alat penstabil tegangan otomatis. Hasil pengujian menjadi acuan dalam pengaturan tap trafo dan kendali relay, agar tegangan keluaran tetap berada dalam batas toleransi standar PLN ($\pm 10\%$ dari 220 Volt).

1) Data Tegangan Input PLN

Pengamatan dilakukan dengan mengukur tegangan input PLN di rumah menggunakan multimeter digital pada beberapa rentang waktu selama satu hari penuh. Tujuannya

adalah untuk mengetahui pola fluktuasi tegangan yang terjadi dari pagi hingga malam hari.

Tabel 1. Data Pengamatan Tegangan Sumber PLN

No.	Waktu Pengukuran	Tegangan Input (V)	Error (%)	Indeks Keberhasilan (%)
1.	06:00 - 17:00	200 – 202	8,64	91,36
2.	17:00 - 21:00	195 – 170	11,36 – 22,73	88,64 – 77,27
3.	21:00 - 06:00	180	18,18	81,82

Berdasarkan Tabel 1, tingkat error tertinggi terjadi pada sore hari ketika tegangan berada pada rentang 195–170 Volt, dengan nilai error 11,36–22,73 % atau indeks keberhasilan 88,64–77,27 %. Selanjutnya, pada malam hingga pagi hari, tegangan stabil disekitar 180 Volt dengan error 18,18 % dan indeks keberhasilan 81,82 %. Sementara itu, error terendah terjadi pada pagi hingga sore dengan nilai 8,64 % atau indeks keberhasilan 91,36 % pada tegangan 200–202 Volt. Jika dibandingkan dengan standar tegangan PLN yaitu 220 Volt ± 10 % (198–242 Volt), terlihat bahwa pada sore hingga malam tegangan sering jatuh dibawah batas bawah standar, sehingga berpotensi mengganggu kinerja peralatan listrik. Oleh karena itu, keberadaan alat penstabil tegangan sangat diperlukan untuk menjaga agar tegangan keluaran tetap stabil dan mendekati nilai nominal.

2) Tegangan pada Trafo Center Tap

Pengamatan dilakukan dengan mengukur tegangan input PLN dirumah menggunakan multimeter digital pada beberapa rentang waktu selama satu hari penuh. Tujuannya adalah untuk mengetahui pola fluktuasi tegangan yang

Tabel 2. Pengamatan Tegangan Keluaran Trafo Center Tap pada Variasi Input

No.	Tegangan Input (V)	Tap 12 V	Tap 18 V	Tap 25 V	Tap 32 V
1.	170	9,73	14	19,8	25,35
2.	180	10,3	14,89	20,96	26,84
3.	190	10,86	15,7	22	28,28

terjadi dari pagi hingga malam hari. Berdasarkan Tabel 2, hasil tersebut terlihat bahwa penurunan tegangan input berbanding lurus dengan penurunan tegangan keluaran pada tiap tap. Misalnya, pada tegangan input 170 Volt, tap 12 Volt hanya menghasilkan 9,73 Volt, sedangkan pada tegangan input 210 Volt, tap 12 Volt kembali menghasilkan 12 Volt sesuai spesifikasi. Pola ini berlaku untuk semua tap, sehingga kestabilan tegangan input menjadi faktor penting dalam menjaga keluaran trafo tetap sesuai nilai nominalnya.

B. Pengujian Akurasi Tampilan Pengukuran Alat

Pengujian dilaksanakan dengan enam kali pengambilan data, menggunakan variasi tegangan masukan bertahap setiap 10 Volt mulai dari 170 Volt hingga 220 Volt. Pada proses ini digunakan transformator variabel (variac) untuk memperoleh nilai tegangan masukan secara bertahap, sehingga kondisi uji coba dapat disimulasikan mendekati keadaan sebenarnya ketika terjadi fluktuasi pada sumber listrik PLN. Data yang diperoleh meliputi hasil pembacaan tegangan dan arus dari sensor tegangan PZEM-004T yang dikirimkan ke aplikasi Blynk, dan melalui modul voltmeter

$$\text{Error \%} = \frac{\text{Nilai Alat Ukur} - \text{Nilai Alat}}{\text{Nilai Alat}} \times 100 \quad (1)$$

Dimana:

Error = Kesalahan pengukuran
 Nilai Alat = Nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran alat
 Nilai Alat Ukur = Nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran alat ukur

AC secara langsung, kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur eksternal dengan multimeter. Selisih antara keduanya dihitung secara matematis menggunakan Persamaan (1) Melalui pengujian ini dapat diketahui tingkat keakuratan alat dalam memantau parameter listrik secara real-time, sekaligus memastikan kelayakan alat untuk digunakan dalam pemantauan beban listrik. Berikut pengujian tegangan ditempatkan pada outlet terminal stop kontak, yaitu bagian yang berfungsi sebagai penghubung sumber listrik bagi perangkat elektronik.

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian menunjukkan bahwa error tertinggi terjadi pada pengukuran 170 Volt sebesar 0,65 % dengan indeks keberhasilan 99,35 %, sedangkan error terendah terdapat pada 200 Volt dan 220 Volt dengan nilai 0 % dan indeks keberhasilan 100 %. Hal ini membuktikan bahwa sensor PZEM-004T mampu mengukur tegangan dengan sangat akurat, karena rentang error yang diperoleh sangat kecil dan tingkat keberhasilan pengukuran berada pada kisaran 99,35 % hingga 100 %.

C. Hasil Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kinerja penstabil tegangan yang dirancang, mulai dari respon terhadap variasi tegangan input hingga konsumsi daya internal yang terjadi saat beroperasi. Bagian ini menyajikan hasil pengujian dalam tiga tahap, yaitu pengamatan tegangan kerja alat, penyusunan rangkuman hasil tegangan keluaran, serta analisis efisiensi alat.

Tabel 3. Pengujian Pengukuran Tegangan Sensor PZEM-004T

No.	Nilai Multimeter (V)	Nilai PZEM (V)	Error PZEM (%)
1.	170	171,10	0,65
2.	180	180,33	0,18
3.	190	190,02	0,01
4.	200	200	0
5.	210	210,14	0,07
6.	220	220	0

1) Tegangan Kerja Alat

Pengujian tegangan kerja dilakukan dengan memberikan variasi tegangan input (Vin) pada alat dan mengamati tegangan keluarannya (Vout). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa alat dapat menjaga keluaran agar tetap mendekati tegangan nominal 220 Volt. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui rentang tegangan kerja alat penstabil tegangan otomatis dalam mengatur pemilihan tap transformator melalui pengendalian relay. Proses pengaturan tersebut dilakukan berdasarkan pembacaan tegangan input yang kemudian dibandingkan dengan parameter batas atas dan batas bawah yang telah diprogram pada mikrokontroler ESP32.

Berdasarkan Tabel 4, menggunakan logika pemrograman, pembagian rentang tegangan kerja adalah

Tegangan input 170 Volt trafo pertama menggunakan pin out 32 Volt menghasilkan tegangan 25,30 Volt, sehingga output sementara dengan seri satu trafo menjadi 195,3 Volt (170 Volt + 25,30 Volt). Karena masih dibawah batas bawah standar PLN 198 Volt (-10 % dari 220 Volt), trafo kedua ditambahkan untuk booster melalui pin out 32 Volt trafo kedua menghasilkan tegangan 29,6 Volt. Tegangan akhir menjadi 224,9 Volt, (195,3 Volt + 29,6 Volt). sudah masuk rentang standar PLN (± 220 Volt).

Tegangan input 180 Volt trafo pertama menggunakan pin out 32 Volt menghasilkan tegangan 26,86 Volt,

sehingga output seri satu trafo menjadi 206,86 Volt (180 Volt + 26,86 Volt). Karena belum mencapai 220 Volt, trafo kedua digunakan untuk booster melalui pin out 12 Volt digunakan menghasilkan tegangan 12,27 Volt, sehingga total tegangan menjadi 219,13 Volt, (206,86 Volt + 12,27 Volt) hampir mencapai 220 Volt tapi sudah aman

Tabel 4. Data Pengamatan Tegangan Kerja Prototipe

No.	Rentang Tegangan Input (V)	Logika Aktif	Keterangan
1.	166 – 179,9	Relay 1	Penambahan 2 tahap trafo
2.	180 – 189,9	Relay 2	Penambahan 2 tahap trafo
3.	190 – 199,9	Relay 3	Penambahan 1 tahap trafo
4.	200 – 209,9	Relay 4	Penambahan 1 tahap trafo
5.	210 – 219,9	Relay 5	Penambahan & pengurangan tegangan
6.	220 – 241,9	Relay 6	Tegangan langsung dialirkan <i>bypass</i>

dalam batas standar (± 220 Volt).

Tegangan input 190 Volt trafo pertama menggunakan

Tabel 5. Perbandingan Input dan Output

No.	Vin (V)	Multimeter dan Blynk Vout (V)	Error (%)
1.	170	224,9	+2,23
2.	180	219,13	-0,40
3.	190	218,36	-0,75
4.	200	223,21	+1,46
5.	210	220,35	+0,16
6.	220–241,9	Mengikuti Tegangan PLN +10% 220 Volt (<i>bypass</i>)	+1,82

pin out 32 Volt menghasilkan tegangan 28,36 Volt, sehingga output menjadi 218,36 Volt (190 Volt + 28,36 Volt). Karena masih aman, cukup memenuhi standar PLN (± 220 Volt) tidak perlu penambahan dari trafo kedua. Tegangan input 200 Volt trafo pertama menggunakan pin out 25 Volt menghasilkan 23,21 Volt, sehingga output menjadi 223,21 Volt (200 Volt + 23,21 Volt). Sudah dalam batas aman, cukup satu tahap seri.

Tegangan input 210 Volt trafo pertama menggunakan pin out 32 Volt menghasilkan tegangan 31,35 Volt, sehingga total menjadi 241,35 Volt (sangat mendekati batas atas PLN, 242 Volt). Untuk mengoreksi, trafo kedua digunakan sebagai penurun tegangan dengan metode center tap (CT), mengambil sisi fasa 180° berlawanan melalui tap 18 Volt yang menghasilkan tegangan -21 Volt. Tegangan akhir menjadi 220,35 Volt, (241,35 Volt - 21 Volt).

Rentang input 220-241.9 Volt Tidak dilakukan penambahan atau pengurangan tegangan. Relay ke-6 aktif sebagai *bypass*, sehingga tegangan PLN langsung disalurkan ke output.

2) Rangkuman Hasil Tegangan

Berdasarkan Tabel 5. hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu menjaga kestabilan tegangan keluaran (Vout) agar tetap berada dalam standar PLN, yaitu ± 10 % dari 220 Volt pada rentang 198–242 Volt. Nilai *error* relatif tertinggi terjadi pada Vin 170 Volt dengan deviasi sebesar +2,23 % dari tegangan nominal 220 Volt, sedangkan nilai terendah terdapat pada Vin 190 Volt dengan *error* -0,75 %. Jika ditinjau dari acuan 220 Volt, indeks keberhasilan alat dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran berada pada kisaran 97,77 % hingga 99,25 %.

3) Analisis Beban-Beban yang Diuji

Pengujian alat penstabil tegangan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana alat mampu mempertahankan tegangan keluaran agar tetap mendekati nilai nominal 220 Volt terhadap berbagai variasi beban listrik rumah tangga. Pengujian ini mencakup perangkat dengan karakteristik daya yang berbeda, mulai dari beban ringan hingga beban berat, agar dapat menggambarkan performa alat secara menyeluruh di kondisi nyata. Jenis beban yang digunakan meliputi Smart TV Toshiba 43 inci, rice cooker Miyako 1,8 liter, dan kulkas LG GN-V222RLT. Pemilihan ketiga beban ini didasarkan pada representasi kategori penggunaan listrik rumah tangga, di mana kipas dan televisi termasuk dalam beban ringan, sedangkan rice cooker dan kulkas termasuk dalam beban sedang hingga berat.

Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi tegangan input rendah antara 175 - 195 Volt, sesuai dengan kondisi tegangan aktual pada jaringan listrik rumah tangga yang sering mengalami penurunan di bawah nilai nominal. Data hasil pengukuran digunakan untuk menilai sejauh mana alat mampu menstabilkan tegangan keluaran dalam berbagai kondisi beban. Tahap pertama pengujian dilakukan pada beban ringan, yaitu Smart TV, untuk melihat respon awal alat terhadap daya rendah dan kestabilan tegangan keluarannya. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 6. berikut.

Tabel 6. Data Pengujian pada Smart TV Toshiba 43 inci

No.	Parameter	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	Input	181,6	0,285	51,7
	Output	221,7	0,257	57
2.	Input	181,6	0,301	54,6
	Output	220,9	0,276	61
3.	Input	182,4	0,181	33,1
	Output	222,9	0,16	35,7
4.	Input	184,3	0,191	35,1
	Output	224,6	0,168	37,7

Hasil pengujian pada beban ringan menunjukkan bahwa alat mampu menaikkan tegangan input rendah menjadi mendekati 220 Volt dengan sangat baik. Pada kipas angin dan televisi, nilai keluaran tercatat stabil pada kisaran 221 - 224 Volt ketika tegangan input berada di antara 181 - 184 Volt. Hal ini menandakan bahwa trafo multi-tap dan kontrol switching relay bekerja optimal dalam mendeteksi serta menyesuaikan posisi tap.

Setelah pengujian pada beban ringan berhasil menunjukkan kestabilan yang baik, tahap selanjutnya dilakukan pada rice cooker Miyako 1,8 liter. Perangkat ini dipilih karena memiliki dua kondisi operasi dengan karakteristik daya yang berbeda, yaitu warm mode (60 Watt) dan cook mode (380 Watt).

Data hasil pengujian rice cooker pada warm mode

Tabel 7. Rice Cooker Miyako 1,8 liter (*warm-mode*)

No.	Parameter	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	Input	180,8	0,299	54,1
2.	Output	219,4	0,273	59,9

ditampilkan pada Tabel 7. sedangkan hasil pengujian pada cook mode disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil pengujian pada rice cooker Miyako 1,8 liter dalam mode warm, diperoleh hasil bahwa alat penstabil tegangan mampu menjaga kestabilan keluaran

Tabel 8. Rice Cooker Miyako 1,8 liter (*cook-mode*)

No.	Parameter	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	Input	175,9	2,01	353,5
	Output	213,3	1,747	372,6
2.	Input	176,6	2,015	355,8
	Output	214,6	1,755	376,7

dengan baik. Saat tegangan input berada pada kisaran 180 Volt, tegangan keluaran yang dihasilkan mencapai 219,4 Volt, sehingga mampu menaikkan tegangan sebesar hampir 39 Volt dari kondisi input rendah. Nilai daya keluaran yang terukur sebesar 59,9 Watt, menunjukkan bahwa alat bekerja dengan efisien pada beban kecil.

Berdasarkan hasil pengujian pada rice cooker Miyako 1,8 liter dalam mode cook, alat penstabil tegangan menunjukkan performa yang mulai menurun dibandingkan dengan pengujian pada beban ringan maupun mode warm. Pada kondisi tegangan input sekitar 175 - 176 Volt, tegangan keluaran yang dihasilkan hanya mencapai 213 - 214,6 Volt, dengan daya keluaran antara 372 - 376 Watt.

Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa beban pada tabel 4.6, di mana alat mampu menaikkan tegangan input 170 - 210 Volt menjadi 218 - 224 Volt, maka terlihat bahwa terjadi penurunan kemampuan stabilisasi saat beban meningkat di atas 300 Watt. Secara kuantitatif, perbandingan menunjukkan bahwa selisih kenaikan tegangan yang semula mencapai sekitar + 45 - 50 Volt pada kondisi tanpa beban, berkurang menjadi hanya + 35 - 40 Volt saat beban mendekati 380 Watt. Fenomena ini menunjukkan adanya keterbatasan pada kapasitas trafo dalam mendistribusikan arus yang lebih besar. Saat arus beban meningkat hingga sekitar 2 Ampere, rugi - rugi tegangan (*voltage drop*) pada lilitan sekunder trafo, sehingga tegangan keluaran tidak lagi mampu mencapai nilai nominal 220 Volt secara penuh.

Selain itu, peningkatan arus beban juga menyebabkan pemanasan internal pada trafo, yang berdampak pada penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, alat masih berfungsi dengan baik untuk beban hingga 300 Watt, tetapi mulai kehilangan kestabilan tegangan ketika daya melebihi batas tersebut. Hasil ini memperjelas bahwa rancangan alat memiliki batas kemampuan maksimum sekitar 300 Watt, sesuai dengan kapasitas desain trafo. Tahap berikutnya dilakukan pengujian menggunakan kulkas LG GN-V222RLT, yang termasuk kategori beban berat. Hasil pengujian kulkas ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Kulkas LG GN-V222RLT

No.	Parameter	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	Input	181,4	0,285	1046,6
	Output	178,4	0,257	828,1
2.	Input	181,3	1,329	184,5
	Output	214,1	1,238	196,3
3.	Input	181,4	1,336	184,7
	Output	215,9	1,234	194,8
4.	Input	181,5	1,377	191,5
	Output	220	1,275	204,3

Hasil pengujian pada kulkas LG GN-V222RLT menunjukkan perilaku berbeda dibandingkan beban resistif. Sebagai beban induktif, kompresor kulkas menimbulkan *inrush current* saat awal menyala, yaitu lonjakan arus yang jauh lebih besar dari arus nominal. Pada kondisi ini daya input tercatat mencapai 1046,6 Watt dengan tegangan input 181,4 Volt, sementara tegangan keluaran turun menjadi 178,4 Volt akibat *voltage drop* sesaat. Setelah kompresor berputar normal, arus menurun dan sistem kembali stabil, ditunjukkan oleh daya operasional 184–204 Watt dan tegangan keluaran kembali naik ke 214–220 Volt.

Fenomena ini wajar pada motor induksi, di mana arus awal (*inrush current*) saat kompresor kulkas mulai bekerja dapat mencapai 5–10 kali arus nominal untuk membentuk medan magnet awal pada lilitan stator. Lonjakan arus tersebut menyebabkan peningkatan daya sesaat sehingga transformator *center tap* (CT) mengalami peningkatan fluks magnetik yang mendekati kondisi saturasi magnetik dan menimbulkan *voltage drop* pada keluaran. Akibatnya, respon stabilizer menjadi lebih lambat dibandingkan saat mengendalikan beban resistif. Meskipun terjadi penurunan tegangan sesaat, alat masih mampu memulihkan tegangan mendekati 220 Volt setelah fase *inrush* berakhir, sehingga trafo dan relay tetap bekerja dengan baik dalam menjaga kestabilan sistem.

Selain dipengaruhi oleh transformator, respon alat juga dipengaruhi oleh karakteristik mekanis relay yang digunakan sebagai pemilih tap tegangan. Relay elektromekanis memiliki waktu perpindahan kontak sekitar 10–20 ms sehingga tidak dapat merespon perubahan arus secepat sistem berbasis semikonduktor (*solid state switching*). Oleh karena itu, pada saat terjadi lonjakan arus mendadak, sistem AVR berbasis relay memerlukan waktu singkat untuk mencapai kondisi stabil kembali. Penurunan tegangan keluaran hingga sekitar 178 Volt pada awal pengoperasian kulkas merupakan kondisi transien yang masih normal dan tidak menimbulkan kerusakan pada perangkat, karena berlangsung dalam waktu sangat singkat sebelum tegangan kembali mendekati nilai nominal.

Secara keseluruhan, alat penstabil tegangan berbasis ESP32 dan trafo CT bekerja optimal pada beban hingga 300 Watt. Pada beban di atas itu terutama beban induktif dengan lonjakan arus tinggi kemampuan menjaga kestabilan tegangan mulai menurun. Oleh karena itu, alat ini direkomendasikan untuk penggunaan pada peralatan rumah tangga ringan hingga menengah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, prototipe penstabil tegangan berbasis ESP32 dengan trafo center tap (CT) berhasil dibuat dan bekerja dengan baik. Berdasarkan pengujian tegangan input 170 - 190 Volt, alat mampu menghasilkan tegangan keluaran 218 - 224,9 Volt dengan tingkat keberhasilan 97,77 - 99,60 %, sehingga masih berada dalam batas toleransi ± 10 % terhadap standar 220 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa alat efektif dalam menstabilkan kondisi *undervoltage*.

Berdasarkan pengujian variasi beban, alat bekerja optimal hingga 300 Watt. Pada beban ringan seperti kipas dan Smart TV, tegangan keluaran stabil pada 221 - 225 Volt meskipun input rendah. Pada beban sedang seperti rice cooker, alat masih mampu mempertahankan tegangan,

meskipun efektivitas menurun saat daya mendekati 380 Watt. Pada beban induktif seperti kulkas, terjadi penurunan tegangan sesaat akibat *inrush current*, namun tegangan kembali stabil setelah kompresor mencapai kondisi normal.

Secara keseluruhan hasil pengujian, prototipe mampu menstabilkan tegangan input rendah dan menangani berbagai beban rumah tangga hingga sekitar 300 Watt.

REFERENSI

- [1] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 04-0227-2003 Tegangan Standar," 2003.
- [2] T. Xu *et al.*, "A study of the impact of voltage sag on sensitive loads at low-voltage distribution areas," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2592, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2592/1/012066.
- [3] S. Shakeri, J. Khajouei, S. Esmacili, and M. H. R. Koochi, "Improving the area of harmonic pollution and vulnerability to voltage sag for compatible and reliable operation of sensitive harmonic loads," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 16, no. 19, pp. 3951–3965, 2022, doi: 10.1049/gtd2.12579.
- [4] J. David, P. Ciufu, S. Elphick, and D. Robinson, "Preliminary Evaluation of the Impact of Sustained Overvoltage on Low Voltage Electronics-Based Equipment," *Energies*, vol. 15, no. 4, 2022, doi: 10.3390/en15041536.
- [5] B. Atmega and B. Sanjaya, "Rancang Bangun AVR Pada Sisi Tegangan Rendah (Tegangan Konsumen)".
- [6] W. Kusuma *et al.*, "Pi Berbasis Internet of Things," vol. 2, pp. 74–85, 2023.
- [7] M. Artiyasa, A. Nita Rostini, Edwinanto, and Anggy Pradifta Junfithrana, "Aplikasi Smart Home Node Mcu Iot Untuk Blynk," *J. Rekayasa Teknol. Nusa Putra*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.52005/rekayasa.v7i1.59.
- [8] W. Principle and C. T. Transformer, "Working Principle of a Centre Tapped Transformer".
- [9] H. Hermansyah, "Kombinasi Variable Trasformator dan Trafo Centre Tap Sebagai Regulator Tegangan AC 1 fhasa," *Elektr. Borneo*, vol. 8, no. 1, pp. 8–11, 2022, doi: 10.35334/jeb.v8i1.2493.