Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi e-ISSN: 2549-4236, p-ISSN: 1411-8939
Lembaga Penellitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Vol 25, No 3 (2025): Oktober, 1504-1513
DOI: 10.33087/jiubj.v25i3.6315

Rancang Bangun Modul Sistem Proteksi Kelistrikan pada Gedung Tower Airnav Unit Dekai

Jovi Nandra Saragih*, Iwan Koswara, I Wayan Juliarta
Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
*Correspondence: jovinandrasaragih@gmail.com[1]

ABSTRAK
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem proteksi kelistrikan berbasis mikrokontroler yang mampu mendeteksi serta menangani lonjakan tegangan (overvoltage) dan penurunan tegangan (undervoltage) secara otomatis. Sistem ini menggunakan sensor PZEM-004T, mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama, serta Solid State Relay (SSR) untuk memutus atau menyambung aliran listrik sesuai dengan kondisi yang terdeteksi. Penelitian ini menggunakan uji Coba Pemakaian. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor PZEM-004T terhadap multimeter digital, menunjukkan selisih rata-rata kurang dari 3%, menandakan keakuratan sensor yang baik. Saat tegangan melebihi 250V atau turun di bawah 190V, SSR berhasil memutus arus dengan waktu respons kurang dari 0,5 detik.

Kata Kunci: Proteksi Kelistrikan, Sensor PZEM-004T, Arduino Mega 2560, Stabilitas Tegangan.

ABSTRACT
This research aims to design and develop a microcontroller-based electrical protection system that is able to detect and handle voltage surges (overvoltage) and voltage drops (undervoltage) automatically. This system uses a PZEM-004T sensor, an Arduino Mega 2560 microcontroller as the main controller, and a Solid State Relay (SSR) to disconnect or connect the electric current according to the detected conditions. This research uses a User Trial test. The test was carried out by comparing the measurement results of the PZEM-004T sensor to a digital multimeter, showing an average difference of less than 3%, indicating good sensor accuracy. When the voltage exceeds 250V or drops below 190V, the SSR successfully disconnects the current with a response time of less than 0.5 seconds.

Keywords*: Electrical Protection, PZEM-004T Sensor, Arduino Mega 2560, Voltage Stability.*

PENDAHULUAN

Bagian Energi listrik merupakan elemen penting dalam menunjang aktivitas kehidupan masyarakat modern, dan dengan pesatnya perkembangan teknologi, dibutuhkan pasokan listrik yang berkualitas serta andal (Royhan, 2021). Untuk menjamin kelancaran dan kestabilan sistem tenaga listrik, berbagai sistem proteksi telah dikembangkan guna mengatasi gangguan internal seperti tegangan lebih (*over voltage*), tegangan rendah (under voltage), maupun eksternal seperti sambaran petir. Menurut IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), tegangan listrik seharusnya tetap dalam batas ±10% dari nilai normal, sementara gangguan tegangan yang melebihi atau kurang dari batas tersebut dapat berdampak serius, terutama terhadap perangkat elektronik (Salamba, 2024). Febriantoro & Suprianto (2014) dalam penelitiannya menekankan bahwa sistem proteksi harus mampu bekerja secara cepat, selektif, sensitif, andal, stabil, dan ekonomis untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik (Saodah et al, 2019)

Bandara Nop Goliat Dekai, termasuk Gedung Tower AirNav, pasokan listrik yang bersumber dari PLN sering mengalami gangguan seperti pemadaman tak terjadwal dan fluktuasi tegangan yang menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik penting seperti PSU dan adaptor. Kondisi ini tidak hanya mengganggu aktivitas operasional, tetapi juga berisiko terhadap keselamatan penerbangan karena dapat menghambat kinerja sistem navigasi udara. Ketidakstabilan tegangan dapat memicu kerusakan pada peralatan sensitif seperti komputer, *surveillance*, dan peralatan komunikasi lainnya yang digunakan dalam pengendalian lalu lintas udara.

Peralatan elektronik yang digunakan dalam sistem navigasi udara memiliki spesifikasi teknis yang sangat sensitif terhadap perubahan tegangan, sehingga lonjakan atau penurunan tegangan secara tiba-tiba dapat merusak komponen internal perangkat, menurunkan

keandalan operasional, serta menyebabkan *downtime* yang berdampak kritis terhadap layanan navigasi. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan mendesak untuk merancang dan mengimplementasikan sistem proteksi kelistrikan yang efektif dan efisien di Gedung Tower AirNav Dekai. Sistem proteksi yang dirancang harus mampu mengatasi berbagai gangguan kelistrikan seperti pemadaman mendadak, over voltage, under voltage, serta arus akibat sambaran petir (Mahardi et al, 2024); (Baskoro et al, 2020); (Anwar et al, 2019)

Berdasarkan kondisi tersebut, dirumuskan 3 (tiga) fokus utama: bagaimana merancang modul proteksi kelistrikan yang mampu mendeteksi dan menangani gangguan listrik, bagaimana cara kerjanya dalam merespons gangguan tersebut, serta bagaimana menguji efektivitasnya dalam memberikan perlindungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah modul sistem proteksi kelistrikan berbasis mikrokontroler yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T, Solid State Relay (SSR), serta didukung oleh software pemrograman yang mampu mendeteksi tegangan abnormal dan arus petir. Adapun ruang lingkup penelitian dibatasi hanya pada pengembangan sistem proteksi untuk mendukung operasional di Tower AirNav Dekai, tidak mencakup keseluruhan instalasi kelistrikan bandara.

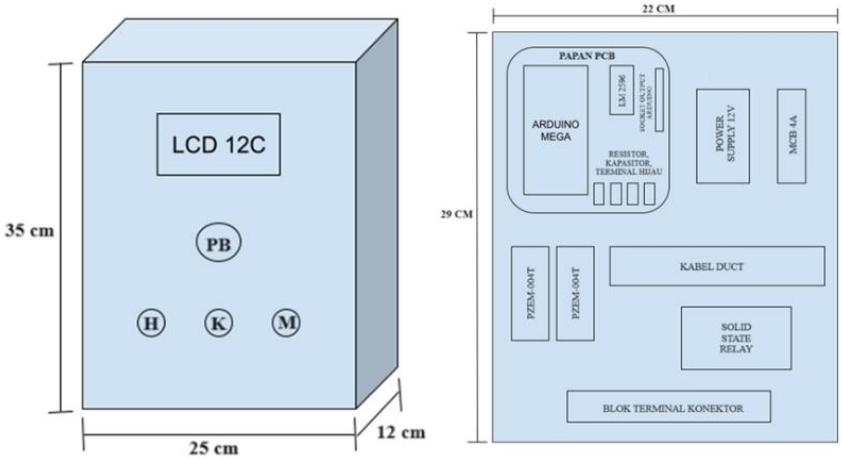
METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan produk sistem proteksi kelistrikan dan menguji efektivitasnya (Sugiyono, 2017). Penelitian dimulai dengan identifikasi potensi dan permasalahan terkait ketidakstabilan tegangan di Gedung Tower AirNav Unit Dekai. Data dikumpulkan melalui studi literatur, observasi langsung, dan wawancara dengan teknisi kelistrikan. Rancangan sistem proteksi menggunakan sensor PZEM-004T, mikrokontroler Arduino Mega 2560, dan Solid State Relay (SSR), yang divisualisasikan dalam diagram blok serta dirancang dalam bentuk perangkat keras dan lunak (Majid, 2016).

Prototipe sistem dikembangkan dan dirakit, dilanjutkan dengan pengujian terhadap berbagai skenario gangguan listrik seperti overvoltage, undervoltage, dan pemadaman. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi dan penyempurnaan sistem, termasuk optimasi program dan penyesuaian parameter proteksi. Produk yang telah disempurnakan kemudian diterapkan di Gedung Tower AirNav untuk evaluasi langsung dalam kondisi operasional nyata. Evaluasi dilakukan dengan memantau kinerja sistem, efektivitas proteksi, serta masukan dari teknisi terkait kemudahan penggunaan, guna menganalisis kekuatan dan kelemahan sistem (Kiswantono, 2023).

HASIL

Perancangan Mekanik



Sumber: data olahan

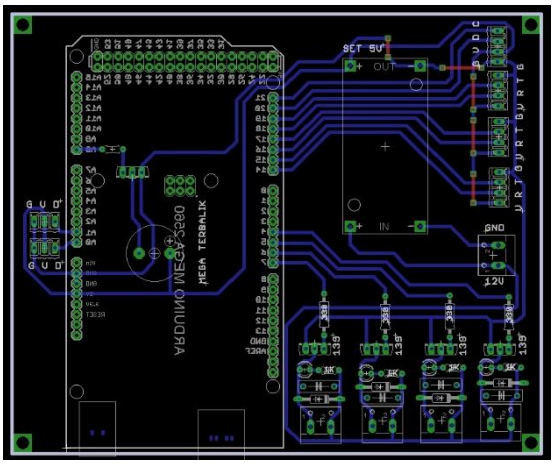
Gambar 1
Rancangan Mekanik pada Box Panel Tampak Depan dan Bagian Dalam

Tahap ini dilakukan desain dan pemilihan material untuk box panel yang akan menjadi tempat pemasangan komponen seperti mikrokontroler, sensor, relay, dan perangkat

pendukung lainnya. Box panel dirancang agar tahan terhadap kondisi lingkungan, seperti panas, debu, dan kelembapan, serta menyediakan ruang yang cukup untuk pengaturan kabel dan konektor. Sistem mekanik juga memasukkan komponen di tempat yang ergonomis untuk memudahkan perawatan dan mengurangi kemungkinan gangguan listrik. Dengan perancangan mekanik yang tepat, diharapkan sistem dapat bekerja secara andal dan memenuhi standar keselamatan.

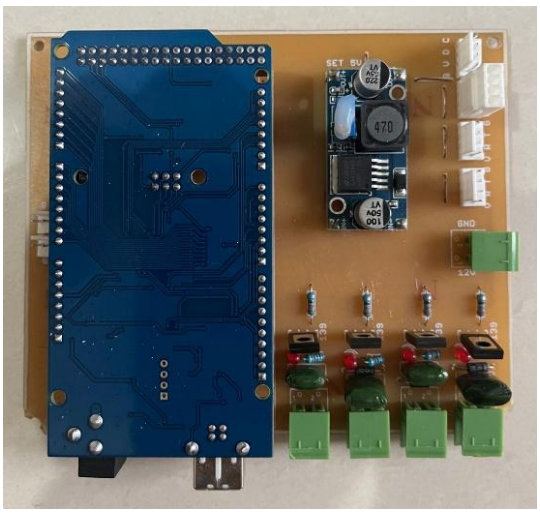
Pembuatan Rangkaian pada Papan PCB

Pembuatan rangkaian pada papan PCB dimulai dengan membuat skema rangkaian menggunakan software EDA, dalam hal ini Eagle versi 6.3.0, untuk menggambar desain sirkuit secara virtual, termasuk penempatan komponen seperti resistor, kapasitor, mikrokontroler, dan buck converter LM2596. Setelah skema selesai, dilakukan penataan komponen pada layout PCB, routing jalur koneksi, dan penambahan ground plane untuk stabilitas. Desain kemudian diekspor menjadi file Gerber sebagai format standar produksi. Selanjutnya, desain dicetak menggunakan printer laser pada kertas transfer khusus dan ditransfer ke papan PCB dengan bantuan setrika panas atau laminator. Proses etching dilakukan menggunakan larutan $FeCl_3$ atau campuran HCl dan H_2O_2 untuk menghilangkan tembaga yang tidak diperlukan. Setelah itu, dilakukan pengeboran lubang, pemasangan komponen, dan penyolderan. PCB yang telah selesai diuji konektivitasnya dengan multimeter, lalu dipasang dalam box panel sesuai desain mekanik untuk siap digunakan dalam sistem proteksi kelistrikan.



Sumber: data olahan

Gambar 2
***Design Board* Siap Cetak**

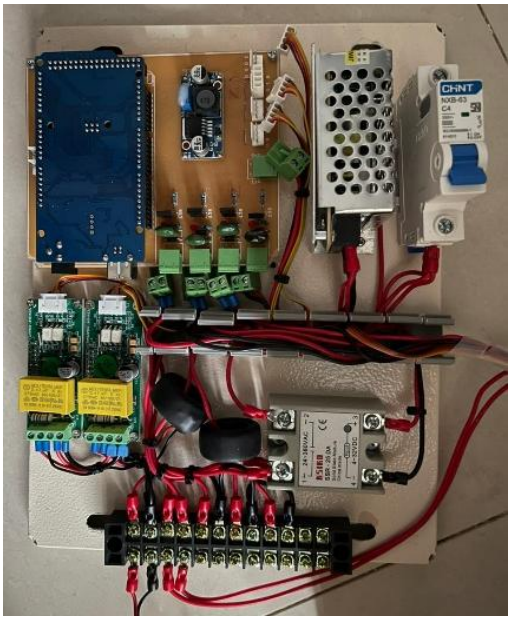


Sumber: data olahan

Gambar 3
Hasil Pemasangan Komponen yang Terpasang di PCB

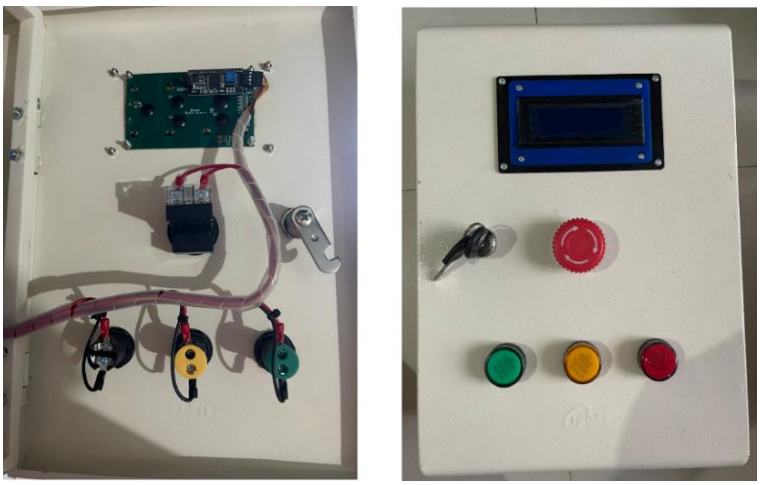
Rangkaian Perakitan Komponen

Proses perakitan komponen sistem proteksi kelistrikan dimulai dengan persiapan box panel berukuran 35x25x12 cm, penempatan kabel duct, serta penandaan posisi komponen utama seperti PCB, MCB, power supply 12V, sensor PZEM-004T, SSR, terminal blok, LCD, push button emergency, dan LED indikator. Papan PCB dipasang menggunakan spacer dan dihubungkan ke power supply serta komponen output. MCB dipasang pada din rail dan dikoneksikan ke sumber utama dan power supply. Sensor PZEM-004T dipasangi ferrite core untuk pengukuran arus, lalu dihubungkan ke mikrokontroler. SSR dipasang untuk mengontrol beban, sedangkan terminal blok digunakan untuk merapikan sambungan kabel antar komponen. Di bagian depan panel, LCD 20x4, tombol emergency, dan LED indikator dipasang dengan melubangi box sesuai ukuran, kemudian dihubungkan ke mikrokontroler. Semua sambungan diuji agar sistem berfungsi dengan baik dan aman.



Sumber: data olahan

Gambar 4
Hasil Rangkaian Perakitan Komponen Dalam Box Panel



Sumber: data olahan

Gambar 5
Rangkaian Perakitan Komponen Bagian Luar (Pintu) Box Panel

Pemrograman pada Arduino Mega 2560

Pemrograman Arduino Mega 2560 dilakukan menggunakan Visual Studio 2022 dan Arduino IDE, dengan tujuan mengintegrasikan sensor, buzzer, LED indikator, dan SSR agar bekerja otomatis. Tahap awal meliputi instalasi Arduino IDE dan library seperti *LiquidCrystal_I2C* dan *PZEM004T*. Pin-pin output seperti SSR, lampu indikator, dan buzzer dideklarasikan, serta dua sensor PZEM-004T dikonfigurasikan melalui Serial1 dan Serial2. Fungsi bacaPZEM() digunakan untuk membaca data tegangan, arus, dan daya dari kedua sensor, lalu menampilkannya di LCD dan Serial Monitor. Fungsi indikator() mengaktifkan LED dan buzzer berdasarkan nilai tegangan dan arus. Seluruh sistem berjalan terus-menerus dalam fungsi loop(). Setelah coding selesai, program diunggah ke board Arduino Mega 2560 melalui Arduino IDE.

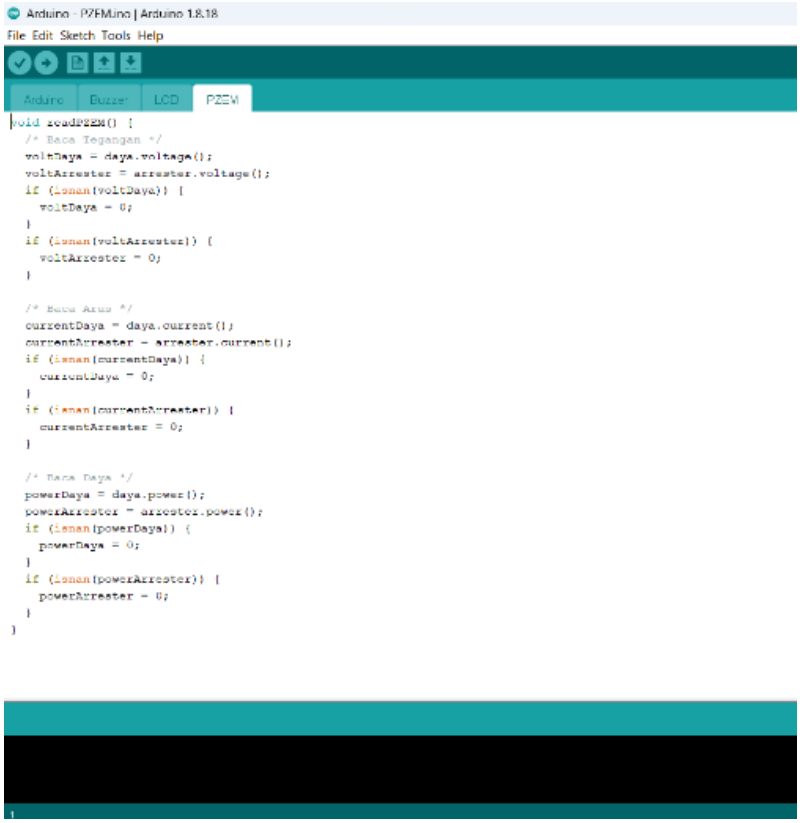


Sumber: data olahan

Gambar 6
Pemrograman ArduinoMega 2560 pada Arduino IDE

Pemrograman pada Sensor PZEM 004T

Pertama, siapkan komponen seperti Arduino Mega 2560, sensor PZEM-004T, kabel jumper, dan power supply 5V. Sambungkan pin TX/RX sensor ke pin Serial1 Arduino (TX=17, RX=16), serta VCC dan GND ke sumber daya. Instal Arduino IDE dan library PZEM004Tv30 melalui Library Manager. Dalam program, impor library, deklarasikan objek PZEM004Tv30 pzem(&Serial1);, lalu baca data tegangan, arus, daya, dan energi dalam fungsi loop() dan tampilkan di Serial Monitor. Upload program ke Arduino dan pantau data melalui Serial Monitor dengan baud rate 9600. Jika data tidak muncul, periksa koneksi, alamat sensor, dan pastikan sensor terhubung ke sumber AC. Untuk pengembangan, tambahkan kontrol LED jika tegangan melebihi batas (misal >240V) dan aktifkan buzzer jika tegangan <200V atau >240V.

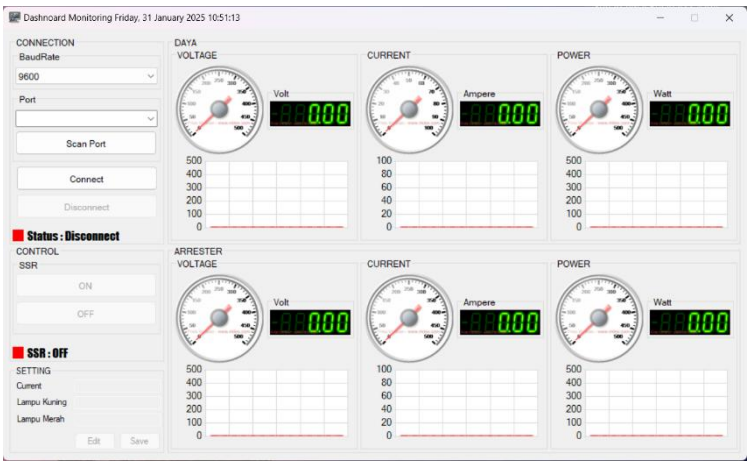


Sumber: data olahan

Gambar 7
Pemrograman Sensor PZEM-004T pada Arduino IDE

Pembuatan Perangkat Lunak (Software) Aplikasi Monitoring

Pembuatan aplikasi monitoring proteksi menggunakan Visual Studio 2022 dimulai dengan membuat proyek baru bertipe *Windows Forms App (.NET)*, kemudian mendesain antarmuka pengguna (UI) menggunakan elemen-elemen seperti Label untuk menampilkan teks informasi, TextBox untuk input data, Button untuk memulai monitoring, DataGridView untuk menampilkan data dalam bentuk tabel, ProgressBar sebagai indikator status proteksi, Timer untuk pembaruan data otomatis, serta Chart untuk visualisasi grafik. Aplikasi ini terhubung dengan Arduino Mega 2560 melalui komunikasi serial, dan berfungsi untuk menampilkan data dari sensor seperti PZEM-004T, termasuk tegangan, arus, dan daya listrik secara real-time.



Sumber: data olahan

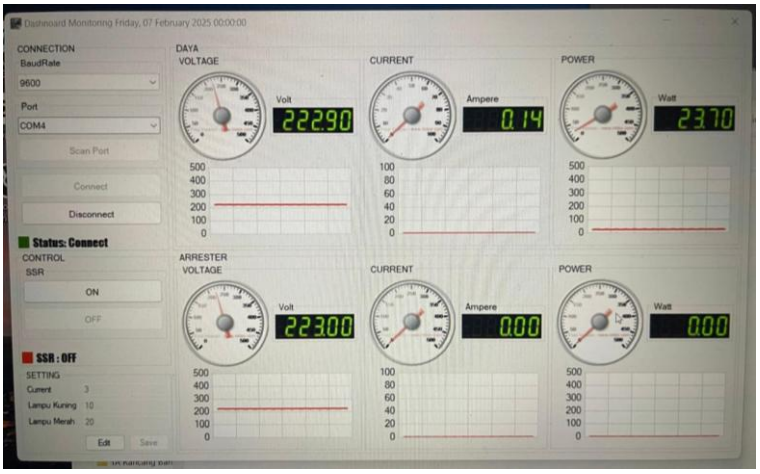
Gambar 8
Tampilan Dashboard Monitoring

Kode program ditambahkan pada Form1.cs, termasuk logika untuk memulai proses monitoring dan pembacaan data secara berkala menggunakan Timer. Simulasi data digunakan sebagai pengganti data asli dari Arduino, dengan nilai proteksi yang ditampilkan pada ProgressBar dan Label status. Jika nilai proteksi berada di bawah ambang batas (misalnya <30%), teks status akan berubah warna menjadi merah sebagai peringatan. Untuk penyimpanan data, aplikasi terintegrasi dengan database SQL Server. Langkah-langkahnya meliputi pembuatan database baru di *SQL Server Object Explorer*, penambahan tabel MonitoringLog, dan konfigurasi Entity Framework Core untuk menghubungkan aplikasi ke database. Data proteksi disimpan setiap kali Timer aktif, menggunakan fungsi SimpanKeDatabase(). Visualisasi data historis dilakukan menggunakan komponen Chart, dengan menampilkan data dari tabel database secara grafik garis berdasarkan waktu.

Selain itu, aplikasi juga dilengkapi dengan fitur notifikasi real-time menggunakan pustaka Microsoft.Toolkit.Uwp.Notifications. Jika nilai proteksi rendah, akan muncul notifikasi peringatan pada layar komputer menggunakan *toast notification*. Fungsi KirimNotifikasi() dipanggil secara otomatis saat pembaruan data terjadi pada Timer. Setelah semua fitur berjalan dengan baik, aplikasi bisa dijalankan dengan klik tombol ▶ *Start* di Visual Studio. Proses monitoring dimulai saat tombol "Mulai Monitoring" ditekan. Untuk distribusi, aplikasi dibangun melalui *Build Solution*, dan dipublikasikan menjadi file installer (.exe) melalui menu *Publish*. Dengan demikian, aplikasi ini berfungsi sebagai sistem monitoring proteksi yang lengkap, interaktif, dan real-time, dengan penyimpanan data terstruktur dan fitur peringatan otomatis.

Pengujian Sensor dan Perbandingan dengan Multimeter

Pengujian merupakan tahap penting dalam tugas akhir ini untuk memastikan bahwa sistem proteksi listrik berbasis mikrokontroler bekerja sesuai dengan perancangan. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya listrik, dan perlu diuji akurasinya dengan membandingkan hasilnya dengan multimeter. Untuk mengukur tegangan, atur multimeter ke mode AC/DC sesuai sumber, lalu hubungkan probe merah ke fase dan hitam ke netral, lalu bandingkan hasilnya dengan pembacaan di Serial Monitor Arduino. Untuk mengukur arus, atur multimeter ke mode arus dan sambungkan secara seri dengan beban, kemudian bandingkan nilai arus dari multimeter dengan sensor PZEM; jika selisih lebih dari 5%, periksa kalibrasi sensor dan pemasangan ferrite core. Untuk daya, gunakan rumus Daya = Tegangan × Arus, lalu bandingkan hasil perhitungan manual dengan output PZEM. Jika nilai berbeda jauh, periksa koneksi sensor dan pengaturan komunikasi serial.



Sumber: data olahan

Gambar 9
Hasil Pengukuran dari Aplikasi Monitoring

Analisis hasil pengujian dilakukan dengan membandingkan data dari sensor PZEM-004T dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter. Jika hasil pembacaan sensor

mendekati nilai multimeter, maka sensor dianggap bekerja dengan baik. Namun, jika terdapat selisih yang signifikan, perlu dilakukan pemeriksaan ulang terhadap koneksi kabel, posisi ferrite core, dan kemungkinan kalibrasi ulang sensor. Penting untuk memastikan bahwa nilai tegangan, arus, dan daya yang ditampilkan pada Serial Monitor sesuai dengan nilai yang diukur langsung oleh multimeter agar keakuratan sistem monitoring dapat terjamin.

Tabel 1
Hasil Pengukuran dari Multimeter dan Aplikasi Monitoring

No.	Tegangan (V) Multimeter	Tegangan (V) PZEM-004T	Arus (A) ltimeter	Arus (A) PZEM-004T	Daya (W) Multimeter	Daya (W) PZEM-004T	Selisih (%)
1	217.0	216.7	1.5	1.48	325.50	320.72	1.5%
2	218.5	218.2	2.1	2.07	459.00	451.57	1.6%
3	220.2	219.9	0.9	0.88	198.18	193.51	2.4%
4	222.7	222.3	1.3	1.28	289.51	284.54	1.7%
5	225.4	225.1	1.8	1.75	405.72	393.92	2.9%
6	226.8	226.5	2.0	1.96	453.60	444.54	2.0%
7	227.0	226.6	1.2	1.18	272.40	267.39	1.8%

Sumber: data olahan

Rumus untuk menghitung selisih persentase (%) antara hasil pengukuran multimeter dan PZEM-004T adalah:

$$\text{Selisih (\%)} = \left(\frac{\text{Nilai Multimeter} - \text{Nilai PZEM}}{Nilai\ Multimeter}\right) x\ 100\%$$

Contoh perhitungan dengan data pengukuran 1 dari Tabel 1:

$$\text{Selisih (\%)} = \left(\frac{325.50 - 320.72}{325.50}\right) x\ 100\% = \left(\frac{4.78}{325.50}\right) x\ 100\% = 1.47\% \approx 1.5\%$$

Pembacaan PZEM-004T sangat mendekati hasil multimeter dengan rata-rata selisih di bawah 3%, menunjukkan kinerja sensor yang baik. Perbedaan kecil dapat terjadi akibat gangguan listrik, noise, atau keterlambatan pembacaan pada komunikasi serial. Tabel ini menunjukkan bahwa PZEM-004T layak digunakan sebagai sensor pemantauan dalam sistem proteksi listrik karena memiliki hasil yang konsisten dengan multimeter.

Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian sistem proteksi dilakukan secara menyeluruh, mulai dari integrasi komponen (*power supply*, sensor, mikrokontroler, aktuator) hingga uji operasional beban. Sensor membaca tegangan, arus, dan daya secara real-time, lalu ditampilkan di LCD, sementara LED dan buzzer merespons otomatis saat kondisi tidak normal terdeteksi. Uji beban menggunakan perangkat seperti radio recorder dan komputer menunjukkan bahwa sistem stabil dan mampu memutus aliran listrik dengan cepat saat melebihi batas proteksi. Hasilnya, sistem terbukti bekerja sesuai perancangan dan responsif terhadap gangguan.

Tabel 2
Hasil Pengujian Modul Sistem Proteksi Kelistrikan

No.	Tanggal	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Status	Keterangan
1	30 Januari 2025	223.5	1.8	402.3	Normal	Sistem berjalan normal
2	31 Januari 2025	221.2	2.0	442.4	Normal	Sistem berjalan normal
3	1 Februari 2025	219.8	1.9	417.6	Normal	Sistem berjalan normal
4	2 Februari 2025	190.5	2.5	476.2	Proteksi Aktif	Undervoltage – Beban Terputus
5	3 Februari 2025	225.3	2.1	473.1	Normal	Sistem berjalan normal
6	4 Februari 2025	218.6	2.0	437.2	Normal	Sistem berjalan normal
7	5 Februari 2025	189.2	2.7	510.8	Proteksi Aktif	Undervoltage – Beban Terputus
8	6 Februari 2025	220.8	1.9	418.9	Normal	Sistem berjalan normal
9	7 Februari 2025	222.8	2.0	445.6	Normal	Sistem berjalan normal
10	8 Februari 2025	224.1	2.2	493.0	Normal	Sistem berjalan normal

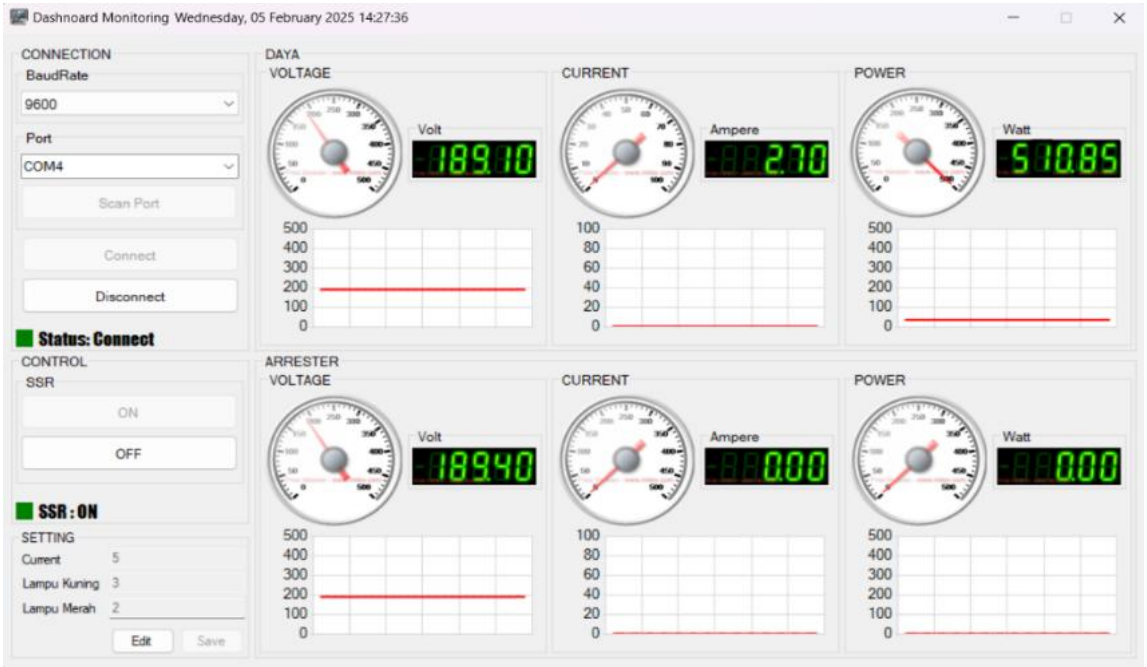
Sumber: data olahan

Berdasarkan Tabel 2 sistem proteksi listrik menunjukkan kinerja yang optimal dalam mendeteksi dan merespons kondisi tidak normal. Dalam rentang waktu pengujian dari 30 Januari 2025 hingga 8 Februari 2025, terjadi dua kali kejadian undervoltage, yang mengakibatkan modul proteksi berfungsi dan memutus daya untuk mencegah kerusakan pada perangkat yang terhubung. Sedangkan Gambar 10 terlihat bahwa pilot lamp indikator berwarna merah menyala. Ini menunjukkan bahwa sistem proteksi telah aktif akibat adanya kondisi tidak normal pada jaringan listrik. Berikutnya Gambar 11 yang menjelaskan saat proteksi aktif, aplikasi secara otomatis menampilkan status bahwa sistem sedang melindungi perangkat. Hal ini menunjukan bahwa modul proteksi telah mendeteksi kondisi tidak normal (seperti tegangan terlalu rendah atau terlalu tinggi) dan mengambil tindakan untuk menjaga beban tetap aman.



Sumber: data olahan

Gambar 10
Pilot Lamp Merah Menyala dan Proteksi Aktif



Sumber: data olahan

Gambar 11
Pada Saat Proteksi Aktif dan Termonitor Aplikasi

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem proteksi kelistrikan yang telah dirancang mampu mengatasi ketidakstabilan tegangan listrik di Tower AirNav Dekai dengan menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Sistem ini dapat mendeteksi lonjakan tegangan (*overvoltage*) dan penurunan tegangan (*undervoltage*) secara *real-tim*e. Selain itu, modul ini juga memberikan perlindungan otomatis melalui *Solid State Relay* (SSR). Modul sistem proteksi berhasil mendeteksi dan melindungi perangkat dari gangguan kelistrikan, pada pengujian terjadi penurunan tegangan (*undervoltage*) yang terdeteksi melalui sensor PZEM-004T. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pengendalian dan perlindungan lebih baik terhadap peralatan sensitif di gedung Tower AirNav Dekai. Sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan dalam otomatisasi dan keandalan, tetapi masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti perlunya optimalisasi desain modul dan pengujian dalam lebih banyak skenario gangguan listri

DAFTAR PUSTAKA

Anwar, S. Artono, T., Nasrul, Dasrul, Fadli, A., 2019. Pengukuran Energi Listrik Berbasis PZEM-004T, *Prosiding Semiar Nasional" Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), A272-A276

Baskoro, F., Bahtiar, M., Haryudo, S. I., Agung, A. I., Hermawan, A. C., 2020. Pembuatan Prototype Penstabil Tegangan untuk Mengatasi Gangguan Over-Under Voltage Berbasis Arduino Uno, *Jurnal Teknik Elektro*, *10*(1), 119–126.

Febriantoro, S. B. C., Suprianto, B., 2014, Sistem Proteksi Gangguan Arus Lebih Menggunakan Sensor ACS712ELC-5A, *Jurnal Pendidikan Teknik El*ektro. 3(2), 31-35

Kiswantono, A., 2023. Rancang Bangun Proteksi Transmisi Listrik terhadap Multi Gangguan. *Journal Zetroem,* 5(2), 113-118

Mahardi, R. D., Sunuharjo, L., Hendrawan, D., 'Atiq, M., Wahyuadi, R. A., Nugraha, S. P. A., 2024. Desain Perancangan Buck Converter Berbasis IC LM2596. *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, *7*(2), 185–192.

Majid, M., 2016, Implementasi Arduino Mega 2560 untuk Kontrol Miniatur Elevator Barang Otomatis, *Skripsi*, Universitas Negari Semarang

Royhan, M., 2021. Arester Tegangan rendah pada daya 6,6 KVA / 380V di Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Jakarta. *Energi & Kelistrikan*, *13*(2), 214–222.

Saodah, S., Daud, A., Masyar, A., Deni, A., 2019. Rancang Bangun Modul Sistem Proteksi Tegangan Rendah. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 9-19

Salamba, D. C., 2024, Evaluasi Sistem Pembumian Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Wilayah Sulawesi Selatan untuk Mitigasi Gangguan Sambaran Petir, *Skripsi,* Universitas Hasanuddin

Sugiyono, 2017. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV. Alfabeta.