

TUGAS AKHIR

ANALISA SISTEM MONITORING KUBIKEL 20 KV MENGUNAKAN NODEMCU ESP 8266 BERBASIS WEB DI PT. PELINDO BELAWAN

*Diajukan Untuk Memenuhi syarat
Memperoleh Gelar sarjana Teknik (ST)
pada program studi Teknik Elektro*

Disusun Oleh:

TRI HANDONO KUNTO

2007220038



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Tri Handono Kunto

NPM : 2007220038

Program Studi : Teknik Elektro

Judul skripsi : Analisa Sistem Monitoring Kubikel 20 Kv Menggunakan Nodemcu ESP 8266 Berbasis Web di PT. Pelindo Belawan

Bidang Ilmu : Sistem Kontrol

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, 29 Agustus 2024

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

Muhammad Adam, S.T., M.T.

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Partaonan Harahap, S.T., M.T.

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

Diketahui oleh
Ketua Program Studi Teknik Elektro



Faisal Ibrahim Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertangan di bawah ini:

Nama lengkap : Tri Handono Kunto
Tempat/Tanggal lahir : Medan, 27 Juni 2002
NPM : 2007220038
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

Analisa Sistem Monitoring Kubikel 20 Kv Menggunakan Nodemcu ESP 8266 Berbasis Web di PT. Pelindo Belawan

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

Bila kemudian hari juga kuat ada Ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia 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 tidak dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 Agustus 2024
Yang Menyatakan



Tri Handono Kunto

ABSTRAK

Penggunaan kubikel listrik berkapasitas 20 kV di PT. Pelindo Belawan membutuhkan sistem monitoring yang handal untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan sistem pemantauan berbasis web pada kubikel dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter penting seperti tegangan, arus, dan suhu kubikel, serta mengirimkan data secara real-time melalui jaringan Wi-Fi ke antarmuka web yang dapat diakses oleh operator. Dalam proses penelitian, data dikumpulkan melalui sensor yang terhubung dengan NodeMCU. Data tersebut kemudian dikirim ke server dan ditampilkan di antarmuka web yang mudah diakses. Hasil studi menunjukkan bahwa sistem pemantauan ini berhasil meningkatkan akurasi dan kecepatan dalam mendeteksi anomali serta gangguan pada kubikel. Selain itu, waktu pemulihan setelah terjadinya gangguan dapat dipersingkat karena operator dapat segera bertindak berdasarkan data real-time yang tersedia. Sistem ini juga dinilai mampu mengurangi frekuensi kerusakan dan memperpanjang masa pakai peralatan, karena pemeliharaan dapat dilakukan lebih efisien. Dengan demikian, penerapan sistem pemantauan berbasis web ini memberikan solusi yang lebih efektif dan inovatif bagi PT. Pelindo Belawan dalam pengelolaan operasional kubikel 20 kV secara lebih efisien.

Kata Kunci: Sistem Monitoring, Kubikel 20 kV, NodeMCU ESP8266, Berbasis Web, PT. Pelindo Belawan

ABSTRACT

The use of 20 kV electrical cubicles at PT. Pelindo Belawan requires a reliable monitoring system to ensure optimal performance and operational safety. This study aims to evaluate the implementation of a web-based monitoring system on cubicles using the NodeMCU ESP8266 microcontroller. This system is designed to monitor important parameters such as voltage, current, and cubicle temperature, and send data in real-time via a Wi-Fi network to a web interface that can be accessed by the operator. In the research process, data was collected through sensors connected to the NodeMCU. The data is then sent to the server and displayed on an easily accessible web interface. The results of the study show that this monitoring system has succeeded in increasing the accuracy and speed in detecting anomalies and disturbances in cubicles. In addition, the recovery time after a disturbance can be shortened because operators can act immediately based on the available real-time data. This system is also considered capable of reducing the frequency of damage and extending the life of equipment, because maintenance can be carried out more efficiently. Thus, the implementation of this web-based monitoring system provides a more effective and innovative solution for PT. Pelindo Belawan in managing the operation of 20 kV cubicles more efficiently.

keywords: Sistem Monitoring, Kubikel 20 kV, NodeMCU ESP8266, Berbasis Web, PT. Pelindo Belawan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2 <i>Internet Of Things</i>	7
2.3 NodeMCU	8
2.4 Sensor DHT22	15
2.5 LCD	17
2.6 RTC DS3231.....	19
2.6.1 Kegagalan Isolasi.....	20
2.6.2 Kegagalan Isolasi Padat.....	20
2.7 Kubikel	21
2.7.1 Bagian Kubikel 20 kv	25
2.7.2 Fungsi Kubikel.....	27
2.7.3 Komponen- Kompenen Kubikel.....	27
2.8 Perangkat Lunak Arduino IDE.....	41
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	44
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	44
3.2 Bahan Dan Peralatan Penelitian	44
3.2.1 Bahan yang Digunakan.....	44

3.3 Kebutuhan <i>Hardware</i>	48
3.4 Kebutuhan <i>Software</i>	48
3.5 Perancangan Sistem.....	48
3.5.1 Diagram Blok Sistem.....	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1 Pengukuran Analisis performa sistem monitoring	52
4.1.1 Pengukuran akurasi Sistem Monitoring	52
4.1.2 Kecepatan Sistem monitoring Data Secara Real-Time	54
4.1.3 Keterhandalan Sistem Monitoring.....	56
4.2 Menganalisis Kebutuhan Sistem Pemantauan.....	57
4.2.1 Merancang Arsitektur Sistem dengan NodeMCU ESP8266.....	58
4.2.2 Mengoptimalkan Efisiensi dan Efektivitas Sistem.....	60
4.2.3 Komponen <i>Hardware</i>	63
4.3 Analisis Akurasi Pengukuran	65
4.3.1 Pengukuran Tegangan	65
4.3.2 Data Pelanggan PLN UP3 Medan Utara Di PT Pelindo	66
4.3.3 Analisis Keandalan Sistem Monitoring	68
4.3.4 Pengujian Keandalan Sistem Monitoring	69
4.3.5 Parameter Sistem	70
4.3.6 Analisis Responsivitas Sistem.....	71
4.4 Evaluasi kinerja efektivitas	73
4.4.1 Implementasi Sistem	73
4.4.2 Pengembangan Perangkat Lunak	75
4.4.3 Intergrasi dan Pengujian.....	76
4.5 Hasil dan Analisis Pengukuran	76
4.5.1 Akurasi Pengukuran	76
4.5.2 Keandalan Sistem	79
4.5.3 Waktu Respons Sistem.....	79
4.5.4 Kemudahan Akses Data	79
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan.....	80

5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul *“Analisa Sistem Monitoring Kubikel 20 Kv Menggunakan Nodemcu Esp 8266 Berbasis WEB Di PT.Pelindo Belawan ”*. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Muhammad Adam, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Ibunda Tercinta Ngatinem dan Ayahanda Tercinta Paijo Atas Do'a dan Pengorbanan untuk merealisasikan cita-cita penulis, hanya Allah

yang dapat membalas dengan baik.

9. Abang dan Kakak Ipar Eko Mulyono, Dwi Sucipto, Wulandari, Marissa Putri, yang senantiasa memberi dukungan dan doa serta hiburan selama ini, sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan.
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020
Akhir kata Penulis, Semoga Skripsi ini dapat dilaksanakan dengan semestinya. Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Medan, Agustus 2024
Penulis

Tri Handono Kunto

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada kebutuhan Listrik masa sekarang sangatlah tinggi. Hampir seluruh aktivitas Masyarakat mengandalkan suplai tenaga Listrik, maka sangatlah dibutuhkan suplai Listrik yang berkualitas. Salah satu elemen dari berkualitas suplai Listrik adalah ketahanan dan keamanan dari gangguan Permintaan akan listrik saat ini sangat tinggi, dengan hampir semua kegiatan masyarakat bergantung pada pasokan tenaga listrik. Oleh sebab itu, sangat penting untuk memastikan bahwa suplai listrik memiliki kualitas yang optimal. Kualitas ini tidak hanya bergantung pada kestabilan dan kesinambungan pasokan, tetapi juga pada kemampuan sistem untuk bertahan dan tetap aman dari berbagai gangguan yang bisa mengganggu aliran listrik. Dengan demikian, untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, diperlukan suplai yang andal, aman, dan mampu menghadapi berbagai potensi gangguan yang bisa menyebabkan kerugian atau mengganggu aktivitas sehari-hari.

Gangguan yang terjadi sangatlah kompleks dan beraneka ragam, demikian pula dengan penyebab gangguan yang terjadi. Salah satu penyebab gangguan yang dapat menimbulkan masalah yang cukup serius pada jaringannya Listrik adalah korona. Kubikel ialah suatu perlengkapan atau peralatan Listrik yang berfungsi sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga Listrik. Kubikel istilah umum yang mencakup peralatan switching dan kombinasi nya dengan peralatan control, pengukuran, proteksi, dan peralatan pengatur. Peralatan tersebut dirakit dan saling terkait dengan perlengkapan, selungkup dan penyangga. Sesuai IEC 298: 1990 di spesifikasi sebagai perlengkapan hubung bagi dan control berselungkup logam rakitan pabrik untuk harus bolak-balik dengan tegangan pengenal diatas 1 kv sampai dengan dan termasuk 35 kv, untuk pemasangan dalam dan pemasangan luar, dan untuk frekuensi sampai 50 Hz.

Korona pada kubikel ini terjadi akibat tidak berfungsinya heater sebagai pemanas ruangan kubikel sehingga suhu akan menurun dan kelembapan akan meningkat yang mengakibatkan timbulnya korona dari kegagalan isolasi Korona

pada kubikel ini dapat terjadi sebagai konsekuensi dari kegagalan heater dalam menjalankan fungsinya sebagai pemanas ruangan kubikel. Ketika heater tidak berfungsi, suhu di dalam kubikel akan turun, sementara kelembapan udara akan meningkat. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang tidak ideal, di mana peningkatan kelembapan dapat menyebabkan penurunan kualitas isolasi pada komponen listrik di dalam kubikel. Akibatnya, isolasi yang seharusnya menjaga komponen-komponen tersebut dari gangguan listrik menjadi kurang efektif, sehingga memicu munculnya korona. Korona ini merupakan fenomena pelepasan muatan listrik yang terjadi karena kegagalan isolasi, yang dalam jangka panjang dapat mengganggu kinerja sistem dan bahkan merusak peralatan listrik.

Jika kondisi ini tidak segera diatasi dapat mengakibatkan terjadi hubung singkat antar penghantar dengan bumi dan dampaknya langsung berpengaruh pada terganggunya sistem distribusi tenaga Listrik ke konsumen juga terjadinya kerusakan atau kerugian material akan dialami oleh Perusahaan. Oleh karena itu diperlukan alat untuk memonitoring suhu dan kelembapan sehingga pada saat heater tidak aktif dapat diketahui melalui alat monitoring, sehingga dapat meminimalisir timbulnya korona dan meminimalisir terjadi gangguan pada sistem distribusi, dan penanganan secara cepat saat terjadi pada kubikel. Untuk memastikan pengoperasian kubikel 20 kV berjalan dengan optimal, diperlukan sistem monitoring yang andal guna mencegah terjadinya gangguan yang bisa menyebabkan kerugian besar, seperti pemadaman listrik atau kerusakan peralatan. Saat ini, monitoring kubikel di PT. Pelindo Belawan masih dilakukan secara manual, yang memerlukan banyak waktu dan tenaga serta berisiko menimbulkan kesalahan manusia (human error). Pendekatan manual ini tidak hanya kurang efisien, tetapi juga menyulitkan dalam memberikan respons cepat terhadap gangguan atau anomali yang muncul dalam sistem distribusi listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana performa sistem monitoring yang dianalisis dalam hal akurasi, kecepatan, dan keterhandalan PT. Pelindo Belawan?
2. Bagaimana fungsi kerja kubikel 20 kv dalam memonitoring ketenaga kelistrikan.

1.3 Ruang Lingkup

Adapun Hal-hal yang dibatasi (Ruang lingkup) dalam tugas akhir ini adalah sebagai Berikut:

1. Mencangkup Monitoring berbagai parameter kritis seperti tegangan, arus, suhu, dan kebocoran serta penggunaan perangkat untuk memantau kondisi dan memberikan peringatan dini terhadap potensi gangguan sistem.
2. Sistem komunikasi dapat menghambat aliran data antara peralatan monitoring dan pusat kendali, menyebabkan keterlambatan atau kehilangan informasi

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan peneliti sebagai Berikut:

1. Menganalisis performa sistem monitoring yang telah analisis termasuk akurasi, kecepatan, dan keterhandalan.
2. Mengembangkan sistem pemantauan yang efisien dan efektif untuk kubikel listrik berkapasitas 20 kv.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai Berikut :

1. Menambah wawasan dan meningkatkan efisiensi dalam sistem kelistrikan melalui pemantauan kubikel 20 kv menggunakan NodeMCU ESP 8266 berbasis web.
2. Memberikan kemudahan dan monitoring yang lebih efisien dan memaksimalkan kinerja operasional kubikel 20 kv.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pemantauan sistem kubikel dalam jaringan distribusi listrik melibatkan pemantauan terus-menerus terhadap operasi peralatan dan infrastruktur kubikel. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi gangguan yang mungkin terjadi dan memantau kinerja peralatan secara real-time guna menjaga kehandalan sistem secara keseluruhan dan penerapannya dalam pemantauan sistem kubikel adalah tentang konsep dimana berbagai perangkat terhubung secara nirkabel ke internet untuk bertukar data dan melakukan kontrol. Dalam konteks pemantauan sistem kubikel, IoT memungkinkan pengumpulan data dari sensor-sensor yang terpasang pada kubikel secara langsung, serta memfasilitasi pengiriman data tersebut ke platform pemantauan melalui jaringan (HADI SUWANTO, 2018).

Pada operasinya tegangan tinggi memiliki potensi untuk menimbulkan korona, di mana medan listrik yang muncul di sekitar kawat atau konduktor disebabkan oleh tegangan tinggi tersebut. Aktivitas korona pada kubikel tegangan tinggi sering kali menjadi penyebab utama terjadinya kegagalan pada isolasi. Kegagalan isolasi peralatan di dalam kubikel adalah masalah yang signifikan bagi perusahaan listrik, termasuk PT. Haleyora Power yang berfokus pada operasi dan distribusi listrik. Data di lapangan menunjukkan bahwa penurunan kualitas isolasi berkontribusi terhadap 90% kegagalan listrik pada peralatan tegangan tinggi. Fenomena korona ini ditandai oleh suara desis, bau ozon, dan kilatan cahaya seragam pada permukaan elektroda faktor lain yang turut mempengaruhi timbulnya korona pada kubikel adalah suhu mainhole dan suhu dalam ruangan tempat kabel berada. Suhu di mainhole harus dipertahankan di atas 28°C untuk mencegah kelembapan di dalam kubikel. Untuk menjaga agar kelembapan tidak terjadi, pemanas (*heater*) di dalam kubikel harus berfungsi saat kubikel beroperasi. Selain itu, bagian tempat masuknya kabel SKTM 20 kV ke dalam terminasi kubikel, atau yang dikenal sebagai indoor kabel, juga menjadi faktor penyebab korona. Banyak indoor kabel yang memiliki lubang, yang memungkinkan udara luar masuk ke

dalam kubikel, dan udara ini dapat meningkatkan kelembapan di dalam kubikel.

Kubikel 20 kV sendiri adalah sebuah perangkat yang dipasang di gardu hubung distribusi, berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol, dan proteksi untuk sistem penyaluran tenaga listrik dengan tegangan 20 kV (Pasra et al., 2018).

NodeMCU ESP8266 merupakan salah satu contoh perangkat IoT yang mampu mengambil data dari sensor-sensor kubikel dan mengirimkannya ke server atau platform pemantauan melalui koneksi Wi-Fi atau jaringan nirkabel lainnya. Sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan di dalam kubikel 20 kV, sementara sensor ZMPT101B digunakan untuk mengukur tegangan pada pemanas yang terdapat di dalam kubikel tersebut. Alat ini menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler untuk memproses data dari kedua sensor tersebut, dan NodeMCU ESP8266 sebagai platform Internet of Things (IoT) untuk mengirimkan data ke internet. Data yang telah diproses oleh Arduino UNO akan dikirimkan melalui koneksi internet dan ditampilkan pada platform Firebase serta aplikasi yang dibuat menggunakan MIT App Inventor (Pangestu et al., 2019).

Dalam sistem kelistrikan seringkali terjadi insiden yang mengakibatkan pemadaman aliran listrik dan kerusakan pada perangkat listrik. Insiden ini dapat terjadi seperti jaringan distribusi listrik. Semua ini akan berdampak pada kehandalan sistem penyaluran listrik. Pada jaringan distribusi sering terjadi pemadaman karena perawatan yang kurang optimal dan gangguan analisis proteksi dilakukan untuk mengurangi kerusakan pada peralatan distribusi akibat gangguan hubung singkat. Dalam situasi ini, mungkin terjadi ketidakandalan proteksi atau perbedaan nilai setting proteksi Overcurrent relay. Ketika terjadi perubahan nilai beban yang mengakibatkan sistem proteksi mengaktifkan diri dan mendeteksi kenaikan beban yang juga meningkatkan nilai arus sebagai gangguan, maka jaringan distribusi akan mati secara otomatis. Namun, seringkali hal ini diabaikan karena penambahan jumlah beban yang hanya sedikit (Pasaribu et al., 2021).

Sistem pemantauan dan pengendalian suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT11. Sensor ini akan mendeteksi suhu dan kelembapan di dalam kubikel, dan data yang diperoleh akan diproses oleh mikrokontroler Wemos D1 Mini melalui

komunikasi serial. Data yang diterima akan diproses sesuai dengan nilai set point yang telah ditentukan, yaitu suhu diatur pada 35°C dan kelembaban diatur pada 50% RH. Jika suhu dan kelembaban melebihi nilai set point, relay akan diaktifkan untuk mengoperasikan dehumidifier dan kipas hingga suhu dan kelembaban mencapai nilai yang ditentukan, kemudian keduanya akan dimatikan Kembali (Gembong et al., n.d.).

Kubikel ini memiliki peran utama sebagai perangkat penghubung dan pemutus yang menggunakan gas SF₆ sebagai medium untuk meredam busur api (M Hariansyah & Awaluddin, 2014). Kubikel tipe Load Break Switch (LBS) umumnya dipasang di gardu distribusi atau gardu hubung (Wijaya, 2019). Sedangkan kubikel tipe Circuit Breaker (CB) biasanya dipasang di gardu distribusi yang menuju ke pelanggan. Keandalan jaringan tenaga listrik merupakan kebutuhan penting dalam masyarakat modern saat ini. Berbagai program peningkatan keandalan terus dilakukan, termasuk melalui inspeksi dan pemeliharaan rutin pada gardu distribusi. Inspeksi dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa peralatan berfungsi dengan baik. Namun, masih terjadi gangguan yang disebabkan oleh fenomena korona pada kubikel 20 kV. Gangguan tersebut berdampak pada terhentinya pasokan listrik ke pelanggan dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada kubikel itu sendiri. Berkaitan dengan perancangan prototipe alat deteksi korona sebagai perlindungan untuk kubikel 20 kV, tujuan penelitian ini adalah untuk menciptakan sebuah prototipe alat deteksi korona yang berfungsi sebagai perlindungan untuk kubikel 20 kV pada pelanggan dengan tegangan menengah. Penelitian ini juga bertujuan untuk memahami dampak suhu dan kelembapan terhadap jumlah O₃ dihasilkan oleh prototipe tersebut, sehingga nantinya dapat diimplementasikan sebagai perlindungan untuk kubikel 20 kV pada pelanggan dengan tegangan menengah (Sriyadi et al., 2021).

Salah satu masalah yang sering terjadi pada kubikel 20 kV adalah ketika suhu dan kelembapan tinggi, akan terbentuk uap air yang menempel pada dinding kubikel, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi timbulnya fenomena korona. Untuk mengatasi masalah ini, kubikel telah dilengkapi dengan pemanas (heater) yang berfungsi untuk memanaskan ruang kubikel sehingga kelembapannya tetap

terjaga Dalam kondisi tersebut, diperlukan sistem pemantauan suhu dan kelembapan, serta sistem pengendalian dua pemanas (*heater*) untuk mencegah kerusakan pada pemanas. Sistem ini menggunakan mikrokontroler dan sensor DHT-22 yang dilengkapi dengan kipas pembuang untuk menjaga suhu ruang terminasi kubikel tetap stabil. Rentang suhu yang diperbolehkan adalah minimal 35 °C hingga maksimal 40 °C, dengan kelembapan di bawah 90%, sesuai dengan spesifikasi kubikel merek Schneider dan standar IEC 62271-1. Hasil pemantauan dapat ditampilkan pada layar LCD dan sistem informasi geografis yang berbasis website (Rahmadani et al., 2022).

Distribusi listrik sering mengalami kendala, salah satunya adalah gangguan pada kubikel 20 kV yang disebabkan oleh korona akibat perubahan suhu dan kondensasi. Korona adalah fenomena pelepasan cahaya samar yang terjadi di sekitar penghantar yang bertenaga, yang dapat menyebabkan busur api antara isolator dan bagian yang bertenaga. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan pemanas (*heater*) dan kipas pembuang (*exhaust fan*) untuk menjaga suhu dan kelembapan. Penelitian ini mengusulkan pembuatan prototipe untuk memantau suhu dan mengendalikan pemanas serta kipas pembuang secara otomatis. Sensor yang terintegrasi membantu dalam memonitor suhu di dalam box kubikel (Long & Lora, 2023).

2.2 Internet Of Things

Pada penelitian (HADI SUWANTO, 2018) Kevin Asthon seorang pelopor teknologi yang juga membuat sistem standar global untuk dan sensor lainnya mengatakan bahwa hampir semua data yang beredar di internet berasal dari hasil input atau hasil capture yang dilakukan oleh manusia ke dalam sistem. Dari sudut pandang sistem, manusia adalah obyek yang lambat, rawan kesalahan, pengantar data yang tidak efisien dan memiliki batasan dalam hal kualitas dan kuantitas, bahkan kadang mencoba menterjemahkan dan mengubah data tersebut.

Salah satu aspek penting dalam memastikan kualitas pasokan listrik adalah memonitor kesehatan kubikel. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada kubikel adalah korona, yang terjadi ketika udara di sekitar penghantar atau konduktor terionisasi karena suhu dan kelembapan udara di dalam kubikel

meningkat secara signifikan. Berdasarkan pengaruh tekanan parsial udara terhadap korona, kita dapat menentukan apakah insiden korona terjadi atau tidak pada kubikel. Hingga saat ini, pemeriksaan kondisi kubikel masih dilakukan secara manual dengan mengirimkan personel langsung ke tiap gardu.

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem monitoring kubikel berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam kubikel 20 kV, serta sensor ZMPT101B untuk mengukur tegangan pada pemanas yang terdapat di dalam serta sensor ZMPT101B untuk mengukur tegangan pada pemanas yang terdapat di dalam kubikel. Perangkat ini menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler dan NodeMCU ESP8266 sebagai platform IoT. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pengawasan yang lebih efisien dan real-time terhadap kondisi kubikel secara otomatis, tanpa perlu keterlibatan langsung dari personel di lapangan (Irawati et al., 2023).

2.3 NodeMCU

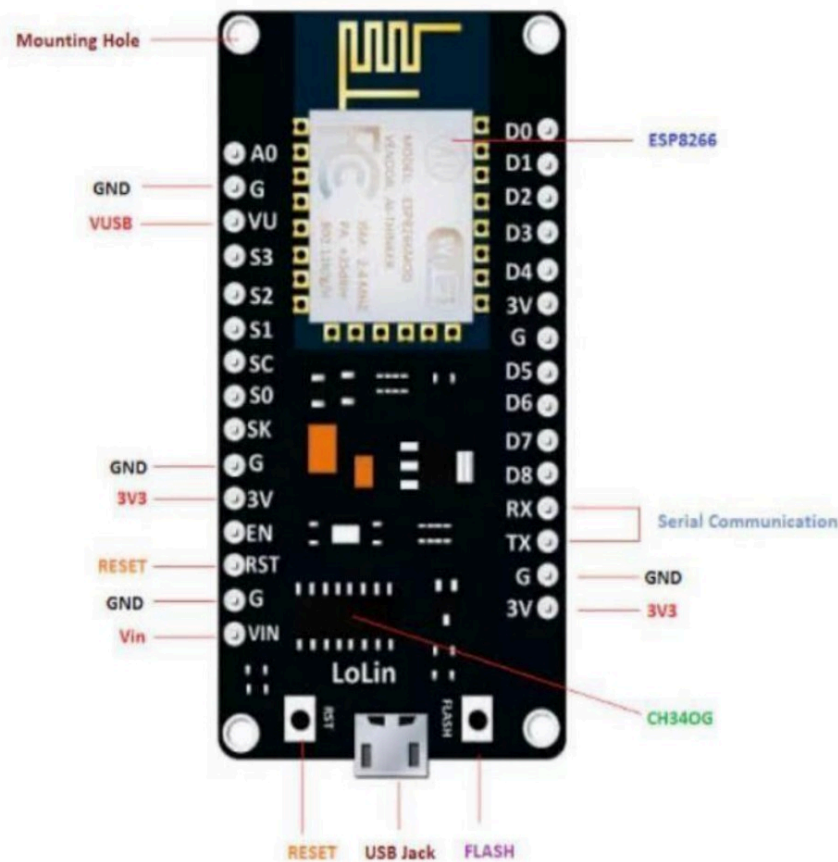
NodeMCU adalah sebuah platform IoT yang bersifat *opensource*. Terdiri dari perangkat keras berupa Sistem *On Chip* ESP8266 dari ESP8266 buatan *Espressif System* (HADI SUWANTO, 2018). NodeMCU ESP8266 merupakan modul mikrokontroler yang didesain dengan ESP8266 di dalamnya. ESP8266 berfungsi untuk konektivitas jaringan Wifi antara mikrokontroler itu sendiri dengan jaringan Wifi. NodeMCU berbasis bahasa pemrograman Lua namun dapat juga menggunakan Arduino IDE untuk programannya. *Mikrokontroler* merupakan sebuah alat pengendali berukuran sangat kecil atau mikro yang dikemas dalam bentuk chip. *Mikrokontroler* pada dasarnya bekerja seperti sebuah *mikroprosesor* pada komputer. Keduanya memiliki CPU yang menjalankan instruksi program. Pemindahan data, dan melakukan logika dasar NodeMCU akan mengirim perintah ke relai untuk menyalakan pompa air guna menyirami tanaman cabai.

Perawatan rutin, seperti penyiraman tanaman secara berkala, sangat penting untuk pertumbuhan optimal tanaman cabai. Untuk memudahkan proses ini, dikembangkanlah sistem irigasi otomatis yang mempermudah pengguna dalam mengairi tanaman. Sistem ini berfungsi dengan sensor kelembaban tanah yang

mendeteksi tingkat kelembaban tanah, sementara NodeMCU ESP8266 bertindak sebagai pengendali utama dalam sistem IoT.

Internet of Things (IoT) pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999. Meskipun sudah 15 tahun berlalu sejak konsep ini diperkenalkan, masih belum ada konsensus global mengenai definisi IoT. Namun, secara umum, IoT memungkinkan objek-objek pintar untuk terhubung satu sama lain, dengan lingkungan sekitarnya, dan dengan perangkat komputasi cerdas lainnya melalui jaringan internet. IoT mulai diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk di bidang pertanian, di mana perangkat-perangkat dan bahkan makhluk hidup dapat terhubung ke jaringan lokal dan global dengan sensor yang tersembunyi dan selalu aktif (Chandra, Subandi, 2023).

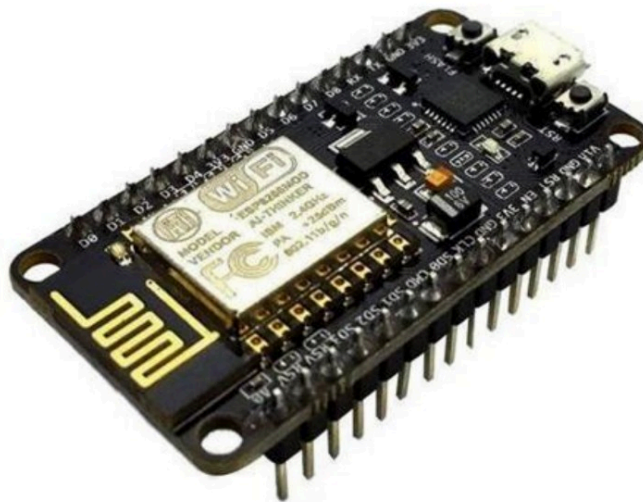
NodeMcu merupakan *mikrokontroler platform Iot opensource* yang terdiri dari *hardware* dan pengembangan kit yang membantu membuat *prototipe* dengan menggunakan bahasa pemrograman LUA. Modul wifi pada NodeMcu ESP8266 digunakan sebagai perangkat yang dapat dihubungkan dengan wifi serta koneksi TCP/IP. Modul NodeMcu ini menggunakan tegangan operasi 3.3-5 volt.(Alwie et al., 2020).



Gambar 2.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU bisa dianalogikan sebagai board arduino yang terkoneksi dengan ESP8266. NodeMCU telah me-package ESP8266 ke dalam sebuah board yang sudah terintegrasi dengan berbagai fitur selayaknya microcontroller dan kapabilitas akses terhadap wifi dan juga chip komunikasi yang berupa USB to serial. Sehingga dalam pemrograman hanya dibutuhkan kabel data USB NodeMCU adalah platform IoT (*Internet of Things*) sumber terbuka yang dirancang untuk memudahkan pengembangan perangkat terhubung. Platform ini mencakup perangkat keras yang berbasis pada seri ESP8266 yang diproduksi oleh Espressif Systems, serta menggunakan bahasa pemrograman Lua sebagai firmware-nya. Meskipun secara umum istilah NodeMCU lebih sering merujuk pada firmware yang digunakan, istilah ini juga dapat merujuk pada perangkat keras yang dikenal sebagai Selain mendukung bahasa pemrograman Lua, NodeMCU juga kompatibel dengan Arduino IDE (Integrated Development Environment), yang merupakan

lingkungan pengembangan perangkat lunak populer di kalangan pembuat perangkat elektronik. Dengan beberapa modifikasi, Arduino IDE dapat digunakan untuk memprogram NodeMCU. Untuk mengintegrasikan NodeMCU dengan Arduino IDE, pengguna perlu menambahkan URL tertentu ke dalam board manager, yang memungkinkan IDE tersebut untuk mendeteksi dan mengunduh board NodeMCU secara khusus. Dalam hal ini, NodeMCU sering dianggap sebagai versi "Arduino" dari ESP8266, memberikan fleksibilitas dalam pengembangan aplikasi IoT (Chandra, Subandi, 2023).



Gambar 2.2 Rangkain Nodemcu Esp 8266

Rangkaian NodeMCU ESP8266 yang telah dirakit merupakan sebuah konfigurasi hardware yang siap digunakan. NodeMCU adalah sebuah platform pengembangan open-source yang menggunakan mikrokontroler ESP8266, yang telah diintegrasikan dengan berbagai komponen elektronik. Dengan rangkaian ini, Anda dapat membangun berbagai proyek IoT (*Internet of Things*) atau aplikasi yang memerlukan koneksi Wi-Fi. NodeMCU memungkinkan Anda untuk melakukan pemrograman menggunakan bahasa pemrograman atau menggunakan Arduino IDE. Dengan demikian, Anda bisa mengembangkan berbagai macam proyek yang

melibatkan sensor, aktuator, dan komunikasi nirkabel dengan mudah.

NodeMCU ESP8266 adalah platform *mikrokontroler* berbasis Wi-Fi yang sangat dikenal dalam pengembangan proyek Internet of Things (IoT). Platform ini mengintegrasikan modul ESP8266, yang menyediakan kemampuan komunikasi nirkabel menggunakan teknologi Wi-Fi. NodeMCU ESP8266 menawarkan fleksibilitas dalam pemrograman, memungkinkan pengguna untuk menulis kode dalam bahasa Lua atau C++ menggunakan Arduino IDE. Berikut adalah penjelasan rinci tentang rangkaian dan fitur NodeMCU ESP8266.

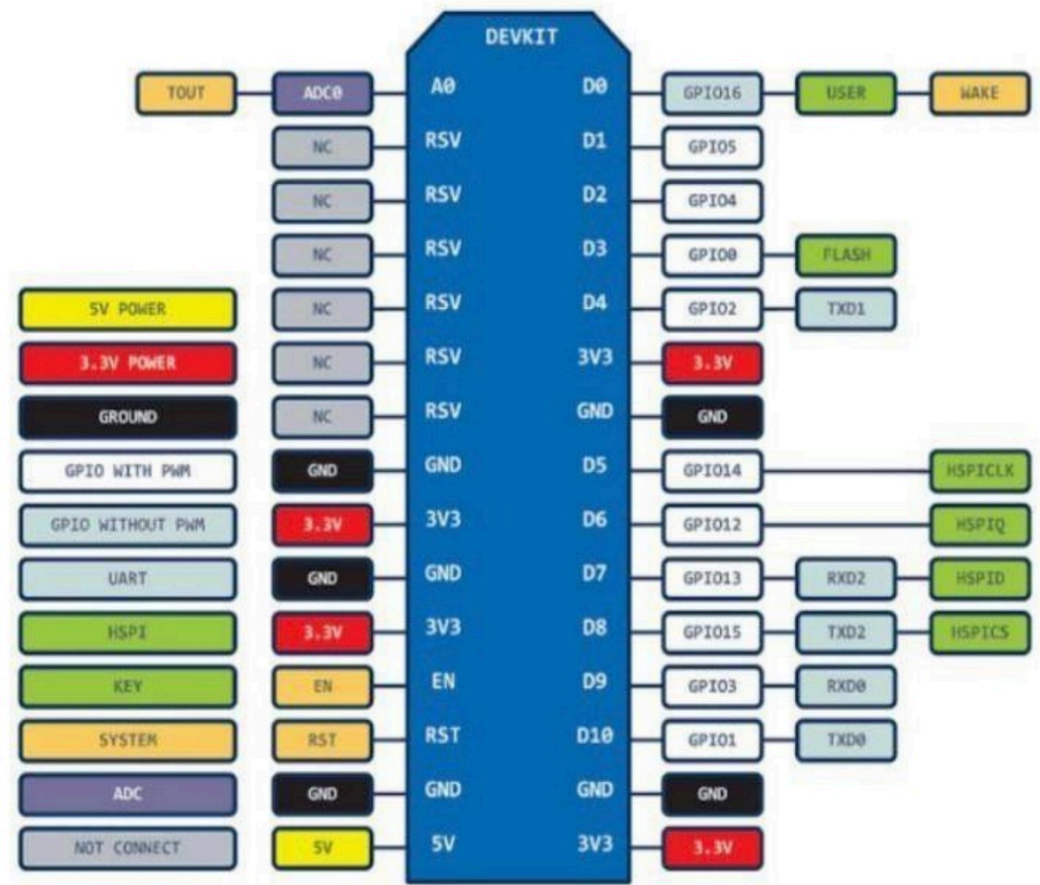
Dengan keberadaan USB-TTL, papan pengembangan NodeMCU mendukung proses flashing langsung melalui port USB. Ini menyatukan kemampuan akses titik WiFi dan stasiun, bersama dengan mikrokontroler. Kombinasi fitur-fitur ini menjadikan NodeMCU sebagai alat yang sangat fleksibel untuk jaringan WiFi. Dapat berperan sebagai titik akses atau stasiun, berfungsi sebagai host server web, atau terhubung langsung ke internet untuk mengambil atau mengunggah data.

Alasan pemilihan NodeMCU ESP8266 karena mudah deprogram dan memiliki pin I/O yang memadai dan dapat mengakses jaringan internet untuk mengirim atau mengambil data melalui koneksi WiFi.

NodeMCU mudah diprogram dan memiliki pin I/O yang memadai dan dapat mengakses jaringan internet untuk mengirim atau mengambil data melalui koneksi WiFi.

Spesifikasi dari NodeMCU adalah sebagai berikut

1. 10 port pin GPIO
2. Fungsi onalitas PWM
3. Antar muka I2C dan SPI
4. Antar muka 1 Wire
5. ADC



Gambar 2.3 Skema Pin NodeMCU ESP8266

Gambar diatas merupakan kaki pin yang ada pada NodeMCU. Berikut penjelasan dari pin-pin NodeMCU tersebut.

Tabel 2.1 Keterangan Pin NodeMCU

No.	Pin-pin NodeMCU	Fungsi
1	ADC	<i>Analog Digital Converter</i> , Rentang tegangan masukan 0-1v, dengan skup nilai digital 0-1024
2	RST	<i>Berfungsi mereset modul</i>
3	EN	<i>Chip Enable, Active High</i>

4	IO16	<i>GPIO16, dapat digunakan untuk membangunkan chipset dari mode deep sleep</i>
5	IO14	<i>GPIO14: HSPI_CLK</i>
6	IO12	<i>GPIO12: HSPI_MISO</i>
7	IO13	<i>GPIO13: HSPI_MOSI: UART0_CTS</i>
8	VCC	<i>Catu daya 3,3v (VDD)</i>
9	CS0	<i>Chip Selection</i>
10	MISO	<i>Slave output, Main input.</i>
11	IO9	<i>GPIO9</i>
12	IO10	<i>GPIO10</i>
13	MOSI	<i>Main output slave</i>
14	SCLK	<i>Clock</i>
15	GND	<i>Untuk mengambil data berupa arus yang dialirkan pada kabel yang diukur GPIO15: MTDO: HSPIC: UART0_RTS</i>
16	IO15	
17	IO2	<i>GPIO2: UART1_TXD</i>
18	IO0	<i>GPIO0</i>
19	IO4	<i>GPIO4</i>
20	IO5	<i>GPIO5J</i>

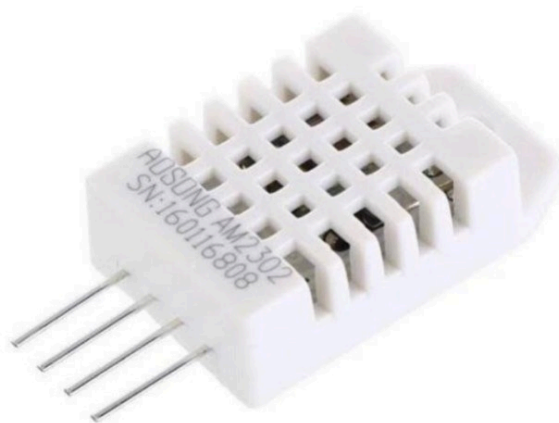
Untuk tegangan kerja ESP8266 menggunakan standar tegangan JEDEC (tegangan 3,3v) untuk bisa berfungsi. Tidak seperti *microcontroller* AVR dan sebagian *board* arduino yang memiliki tegangan TTL 5 volt. Meskipun begitu, NodeMCU masih bisa terhubung dengan 5v namun melalui port micro USB atau pin Vin yang disediakan oleh *board*-nya.

Namun karena semua pin pada ESP8266 tidak toleran terhadap masukan 5v, maka jangan sekali-kali langsung mencatunya dengan tegangan TTL jika tidak ingin merusak board anda. Anda bisa menggunakan *Level Logic Converter* untuk mengubah nilai tegangan ke nilai aman 3,3v.

2.4 Sensor DHT22

DHT-22 adalah chip tunggal kelembaban relatif dan multi sensor suhu yang terdiri dari modul yang dikalibrasi keluaran digital. Pada pengukuran suhu data yang dihasilkan 14 bit, sedangkan untuk kelembaban data yang dihasilkan 12 bit. Keluaran dari DHT-22 adalah digital sehingga untuk mengaksesnya diperlukan pemrograman dan tidak diperlukan pengkondisi sinyal atau ADC. DHT memiliki banyak varian, salah satunya yaitu DHT22 (AM2302) dengan bentuk fisik seperti pada gambar. Salah satu keunggulan utama dari DHT-22 adalah kemampuannya untuk menghasilkan keluaran data dalam format digital. Ini berarti bahwa data yang dihasilkan oleh sensor dapat langsung digunakan dalam aplikasi pemrograman tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti pengkondisi sinyal atau konverter analog-ke-digital (ADC). Hal ini menjadikan DHT-22 sebagai pilihan yang efisien dan praktis untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan pengukuran suhu dan kelembaban secara real-time.

DHT-22 juga dikenal dengan nama lain, yaitu AM2302, yang merupakan salah satu varian dari seri sensor DHT. Sensor ini hadir dalam bentuk fisik yang kompak dan sesuai dengan gambar yang sering disertakan dalam dokumentasi produk. Varian DHT-22 ini menawarkan kinerja yang handal dan merupakan salah satu sensor yang banyak digunakan dalam proyek-proyek yang melibatkan monitoring lingkungan, sistem otomatisasi, dan aplikasi berbasis IoT.



Gambar 2.3 Sensor DHT22

Sensor DHT-22 dipilih daripada sensor DHT-11 karena memiliki *range* pengukuran yang luas yaitu 0 sampai 100% untuk kelembaban dan -40 derajat celcius sampai 125 derajat celcius untuk suhu. Sensor ini juga memiliki *output* digital (*single-bus*) dengan akurasi yang tinggi..DHT-22 membutuhkan *supply* tegangan 2.4 dan 5.5 V. SCK (*Serial Clock Input*) digunakan untuk mensinkronkan komunikasi antara *microcontroller* dengan DHT-22,

kemudian digunakan untuk transfer data dari dan ke DHT-22 Sensor DHT22 telah digunakan dalam beberapa aplikasi, seperti pemantauan kelembaban untuk pertumbuhan tanaman pengaturan kecepatan kipas secara otomatis dan sistem keamanan ruangan Sensor DHT22 mudah diimplementasikan pada mikrokontroler jenis Arduino, khususnya Arduino Uno, karena stabilitasnya yang dapat diandalkan dan fitur kalibrasinya yang memberikan hasil yang sangat akurat.

Arduino Uno adalah mikrokontroler dengan sumber terbuka yang memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan board mikrokontroler lainnya, karena menggunakan bahasa pemrograman yang dirancang melalui perangkat lunak [9].

Di dalamnya terdapat kapasitas polimer yang berperan sebagai sensor kelembaban relatif, serta pita regangan yang berfungsi sebagai sensor temperatur. Hasil dari kedua sensor tersebut digabungkan dan disambungkan ke ADC 14 bit serta antarmuka serial pada satu chip yang sama. Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang responsif dengan waktu respon yang cepat, sesuai dengan standar DHT-22. Untuk memastikan akurasi kelembaban, DHT-22 dikalibrasi secara cermat menggunakan hygrometer sebagai referensi. Koefisien kalibrasi telah diprogramkan ke dalam memori dan digunakan untuk mengkalibrasi output.

Sistem sensor yang digunakan untuk memantau suhu dan kelembaban adalah DHT-22 dengan tegangan masukan 5 Volt dan komunikasi dua arah menggunakan dua kawat. Sistem ini memiliki satu jalur data yang digunakan untuk memerintahkan alamat dan membaca data. Setiap kali pengukuran dilakukan, perintah pengalamatan diberikan oleh mikrokontroler. Melalui koneksi data serial antara mikrokontroler dan pin data DHT-22, perintah pengalamatan diberikan dengan kode "00000101" untuk mengukur kelembaban relatif dan untuk mengukur suhu. DHT-22 kemudian memberikan output data kelembaban dan suhu secara

bergantian melalui pin data sesuai dengan sinyal clock yang diberikan oleh mikrokontroler untuk mengaktifkan sensor. Sensor DHT-22 dilengkapi dengan ADC (Analog to Digital Converter) internal, sehingga keluaran data telah dikonversi menjadi format digital dan tidak memerlukan ADC eksternal dalam pengolahan data oleh mikrokontroler. Berikut adalah spesifikasi teknis dari sensor DHT-22 (Irawati et al., 2023).

1. Tegangan Suplai: 5 Volt
2. Rentang Pengukuran Suhu: -40 hingga 80 derajat Celsius, dengan resolusi 0,1 derajat Celsius, dan kesalahan kurang dari $\pm 0,5$ derajat Celsius.
3. Rentang Pengukuran Kelembaban: 0 hingga 100% RH (Relatif Humidity), dengan resolusi 0,1% RH, dan kesalahan kurang dari $\pm 2\%$ RH.
4. Waktu Pemindaian: 2 detik
5. Ukuran: 15,1mm x 25mm x 7,7mm

2.5 LCD

Tampilan elektronik adalah sebuah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menampilkan informasi, seperti karakter, huruf, atau grafik. Salah satu jenis tampilan elektronik adalah LCD (*Liquid Crystal Display*), yang menggunakan teknologi CMOS logic. LCD bekerja dengan cara memantulkan cahaya yang ada di sekitarnya pada latar depan (front-lit) atau mentransmisikan cahaya dari belakang (*back-lit*), bukan menghasilkan cahaya sendiri. Fungsinya adalah untuk menampilkan data dalam berbagai bentuk, seperti karakter, huruf, angka, atau grafik.

LCD yang digunakan untuk memonitor kubikel adalah LCD 16x2. Berikut adalah fitur-fitur yang disertakan dalam LCD ini:

1. Memiliki 16 karakter dan 2 baris.
2. Menyimpan hingga 192 karakter.
3. Dilengkapi dengan generator karakter yang dapat diprogram.
4. Dapat dioperasikan dalam mode 4-bit dan 8-bit.
5. Dilengkapi dengan lampu latar (*backlight*).



Gambar 2.4 LCD 16

Proses pengalamatan pada LCD dimulai dengan mengaktifkan modul LCD. Karakter kursor pada LCD ditempatkan pada awal baris pertama (alamat 00H) secara otomatis. Setiap kali sebuah karakter dimasukkan, kursor akan bergerak ke alamat berikutnya, seperti 01H, 02H, dan seterusnya. Untuk memindahkan kursor ke alamat baru, perintah yang sesuai harus dimasukkan.

Berikut merupakan tabel keterangan pin yang terdapat pada LCD:

Tabel 2.2 Keterangan pin pada LCD

No.Pin	Nama	Keterangan
1	GND	<i>Ground</i>
2	VCC	+5V
3	VEE	<i>Contras</i>
4	RS	<i>Register Select</i>
5	RW	<i>Read/Write</i>
6	E	<i>Enable</i>
7	D0-D7	Data bit 0-7
8	A	Anoda (<i>back light</i>)
9	K	Katoda (<i>back light</i>)

2.6 RTC DS3231

Module RTC DS3231 adalah jenis modul yang berfungsi sebagai RTC (Real Time Clock) atau jam digital, serta memiliki tambahan fitur pengukur suhu yang terintegrasi dalam satu modul. Selain itu, modul ini dilengkapi dengan IC EEPROM tipe AT24C32 yang dapat dimanfaatkan juga.

Antarmuka untuk mengakses modul ini menggunakan I2C atau dua kawat (SDA dan SCL). Dengan demikian, apabila diakses menggunakan mikrokontroler seperti NodeMCU, hanya dibutuhkan 2 pin untuk koneksi data dan 2 pin untuk koneksi daya.

Modul RTC DS3231 umumnya sudah dilengkapi dengan baterai CR2032 3V yang berfungsi sebagai cadangan daya RTC ketika daya utama terputus. Dibandingkan dengan RTC DS1302, RTC DS3231 memiliki sejumlah keunggulan, misalnya rentang input VCC yang dapat disuplai dengan tegangan antara 2,3V hingga 5,5V serta memiliki cadangan baterai. Berbeda dengan DS1307, DS3231 juga memiliki terintegrasi sehingga tidak memerlukan eksternal real Time Clock atau RTC adalah salah satu perangkat elektronika yang aktif dan mampu menyimpan data dalam konteks ini adalah RTC jenis DS3232. Proses pengaturan waktu pada RTC ini dilakukan secara otomatis[10].



Gambar 2.5 RTC DS3231

2.6.1 Kegagalan Isolasi

Isolasi berperan dalam memisahkan bagian-bagian yang memiliki perbedaan tegangan, sehingga mencegah terjadinya lompatan listrik (*flash over*) atau percikan (*spark over*) di antara mereka. Kegagalan isolasi pada peralatan tegangan tinggi yang terjadi selama operasi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan mengganggu kontinuitas sistem. Beberapa kasus menunjukkan bahwa kegagalan isolasi ini sering terkait dengan partial discharge. Partial discharge bisa terjadi pada berbagai jenis material isolasi, termasuk material isolasi padat, cair, dan gas. Kegagalan pada material isolasi padat umumnya melibatkan proses erosi. Pada material isolasi gas, kegagalan terutama dipicu oleh mekanisme Townsend dan Streamer. Sementara itu, pada material isolasi cair, kegagalan disebabkan oleh adanya kavitasi, keberadaan partikel dalam cairan, dan pencampuran material isolasi cair.

2.6.2 Kegagalan Isolasi Padat

Kegagalan intrinsik adalah kegagalan yang disebabkan oleh sifat dan suhu bahan itu sendiri, tanpa pengaruh faktor eksternal seperti tekanan, elektroda, kontaminasi, atau gelembung udara. Kegagalan ini terjadi ketika tegangan yang diterapkan pada bahan meningkat hingga mencapai nilai kritis, yaitu 106 volt per sentimeter, dalam waktu sangat singkat, sekitar 10⁻⁸ detik.

Kegagalan elektromagnetik terjadi karena adanya perbedaan polaritas antara elektroda yang menekan zat isolasi padat, sehingga menciptakan tekanan listrik pada bahan tersebut. Tekanan listrik ini menghasilkan tekanan mekanik yang menyebabkan tarik-menarik antara kedua elektroda. Pada tegangan 106 volt per sentimeter, tekanan mekanik yang terjadi berkisar antara 2 hingga 6 kilogram per sentimeter persegi.

Kegagalan Streamer terjadi setelah terjadinya lonjakan (*avalanche*). Elektron yang masuk ke dalam pita konduksi di katoda akan bergerak menuju anoda di bawah pengaruh medan listrik, mendapatkan energi saat bertabrakan dan kehilangan energi saat bertabrakan. Jika lintasan bebasnya cukup panjang, energi tambahan

yang diperolehnya melebihi energi ionisasi jala-jala kristal. Akibatnya, terjadi penambahan elektron saat terjadi tabrakan. Penerapan tegangan V pada elektroda bola akan menimbulkan tegangan di media sekitarnya (gas atau udara), menyebabkan tekanan listrik yang tinggi karena gas memiliki permitivitas yang lebih besar daripada zat padat. Hal ini menyebabkan kegagalan pada gas sebelum zat padat mencapai kekuatannya. Akibat kegagalan ini, muatan akan jatuh pada permukaan zat padat, mengganggu medan listrik yang semula homogen.

2.7 Kubikel

Kubikel merupakan sebuah perangkat atau peralatan listrik yang berperan sebagai pengendali, penghubung, serta pelindung, serta berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari sumber tenaga listrik. Istilah "kubikel" merujuk pada peralatan *switching* dan kombinasinya dengan peralatan kontrol, pengukuran, proteksi, dan pengaturan. Peralatan tersebut dirakit dan terhubung dengan perlengkapan, selungkup, dan penyangga. Menurut standar IEC 298:1990, kubikel didefinisikan sebagai peralatan hubung bagi dan kontrol yang terdiri dari selungkup logam yang dirakit pabrik untuk arus bolak-balik dengan tegangan nominal di atas 1 kV hingga 35 kV, baik untuk penggunaan dalam ruangan maupun luar ruangan, dan untuk frekuensi hingga 50 Hz.

Kubikel 20 kV adalah sebuah perangkat untuk menyalurkan energi listrik pada tegangan 20 kV, yang termasuk dalam kategori tegangan menengah yang sangat berpotensi berbahaya apabila terjadi gangguan. Salah satu masalah yang mungkin terjadi pada kubikel 20 kV adalah ketika suhu dan kelembapan tinggi, hal ini dapat menyebabkan terbentuknya uap air yang menempel pada dinding kubikel, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi terjadinya korona. Korona adalah suatu kejadian di mana udara di sekitar konduktor mengalami ionisasi sehingga menyebabkan pelepasan muatan listrik. Kerusakan pada sistem instalasi listrik konsumen dapat menyebabkan hilangnya suplai tegangan 220VAC yang menuju ke pemanas (*heater*), mengakibatkan tidak berfungsinya heater. Situasi tersebut dapat menjadi sangat serius jika kerusakan pada heater tidak segera terdeteksi dan ditangani oleh petugas, karena dapat menyebabkan kelembapan di ruang terminasi kubikel. Monitoring Temperatur Pada Panel Kontrol di Gardu Induk di mana dalam

penelitian ini dilakukan pengembangan beberapa fitur untuk mendeteksi kerusakan pada *heater* serta integrasi dengan Sistem Informasi Geografis berbasis website. Sistem ini mampu mengawasi suhu, kelembapan, dan mendeteksi kerusakan heater menggunakan sensor arus, serta memantau kinerja heater melalui tampilan peta digital pada sebuah website. Dengan adanya perangkat ini, diharapkan dapat mencegah dan mengurangi gangguan pada kubikel yang disebabkan oleh kerusakan pada heater. Kubikel terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk terminal penghubung, busbar rel, kontak pemutus, pemisah hubung tanah, *circuit breaker*, *Current Transformer*, *Potensial Transformer*, peralatan mekanik kubikel, *heater*, dan tuas pengoperasian kubikel. Salah satu komponen kecil dalam kubikel yang memiliki peran penting adalah *heater* atau pemanas. Fungsi utama dari alat ini adalah untuk menghasilkan panas di dalam ruang terminal kubikel sehingga kelembapannya tetap terjaga. Hal ini diharapkan dapat mengurangi efek korona pada terminal kubikel. Suplai tegangan untuk mengoperasikan *heater* adalah 220V yang disalurkan dari instalasi yang dimiliki oleh pelanggan. Daya yang biasanya digunakan oleh heater adalah 150W, namun dapat bervariasi tergantung pada unit PLN yang memasang instalasi kubikel (Rahmadani et al., 2022).

Sebuah kubikel perangkat listrik yang ada di gardu hubung, semakin meningkat kinerjanya, maka semakin tinggi suhu yang dihasilkan oleh bagian-bagian kubikel. Masalah utama yang sering muncul pada kubikel adalah korona, yang merupakan proses yang terjadi saat udara di sekitar penghantar atau terionisator menjadi terionisasi. Penentuan apakah korona terjadi atau tidak pada kubikel dapat dilakukan berdasarkan tekanan parsial udara yang signifikan terkait dengan korona. Menurut referensi, suhu di atas 35°C dan kelembapan di atas 75% merupakan indikasi adanya korona, dan saat ini pemeriksaan kubikel masih dilakukan secara manual (Irawati et al., 2023).

Penyediaan tenaga listrik yang dapat diandalkan merupakan kebutuhan dasar untuk mendukung berbagai aktivitas manusia. Kubikel 20 kV (kilo volt) adalah salah satu komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik yang memiliki peran penting dalam memastikan stabilitas dan ketersediaan pasokan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis menyeluruh terhadap kubikel 20

kV dalam konteks distribusi tenaga listrik. Metodologi penelitian mencakup survei lapangan, pengumpulan data operasional kubikel, serta analisis data menggunakan perangkat lunak simulasi. Temuan dari penelitian ini menunjukkan beberapa hasil signifikan. Pertama, kubikel 20 kV yang telah beroperasi selama bertahun-tahun menunjukkan tanda-tanda penuaan yang memerlukan perhatian. Kubikel adalah sekumpulan panel hubung yang dirancang untuk tegangan kerja sebesar 20.000 Volt, yang dipasang di gardu induk. Fungsinya meliputi pembagian, pemutusan, penghubungan, pengendalian, dan perlindungan sistem distribusi tenaga listrik ke berbagai pusat beban. Kubikel yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis outgoing. Bagian-bagian dari kubikel dijelaskan dalam referensi (Pasaribu et al., 2021). Kubikel 20 kV merupakan peralatan listrik yang dipasang di gardu distribusi untuk membagi, memutus, menghubungkan, mengontrol, dan melindungi sistem penyaluran tenaga listrik dengan tegangan 20 kV. Biasanya, kubikel 20 kV dipasang di gardu distribusi atau gardu hubung, baik yang terbuat dari beton maupun dalam bentuk kios (Takwa et al., 2024).

Kubikel 20 kV adalah perangkat krusial dalam sistem distribusi tenaga listrik yang dirancang untuk mengelola dan mendistribusikan arus listrik dengan tegangan 20.000 Volt (20 kV). Perangkat ini umumnya dipasang di gardu distribusi atau gardu hubung, dan memiliki berbagai fungsi utama seperti pembagian, pemutusan, penghubungan, pengendalian, dan perlindungan dalam sistem penyaluran tenaga listrik. Berikut adalah uraian rinci mengenai fungsi dan komponen dari kubikel 20 kV

Rumus-Rumus Penting dalam Kubikel 20 kV

Untuk menganalisis dan memahami kinerja kubikel 20 kV, beberapa rumus dasar dalam kelistrikan dapat digunakan:

- Hukum Ohm:

$$V=I\times R$$

Di mana V adalah tegangan (Volt), I adalah arus (Ampere), dan R adalah resistansi (Ohm).

- Daya Listrik:

$$P=V\times I$$

Di mana adalah daya (Watt), adalah tegangan (Volt), dan adalah arus (Ampere).

- Kapasitas Busbar:

$$I = \frac{P}{V}$$

Di mana I adalah arus yang mengalir melalui busbar (Ampere), P adalah daya yang ditransmisikan (Watt), dan V adalah tegangan (Volt).

- Perhitungan Energi:

$$E = P \times t$$

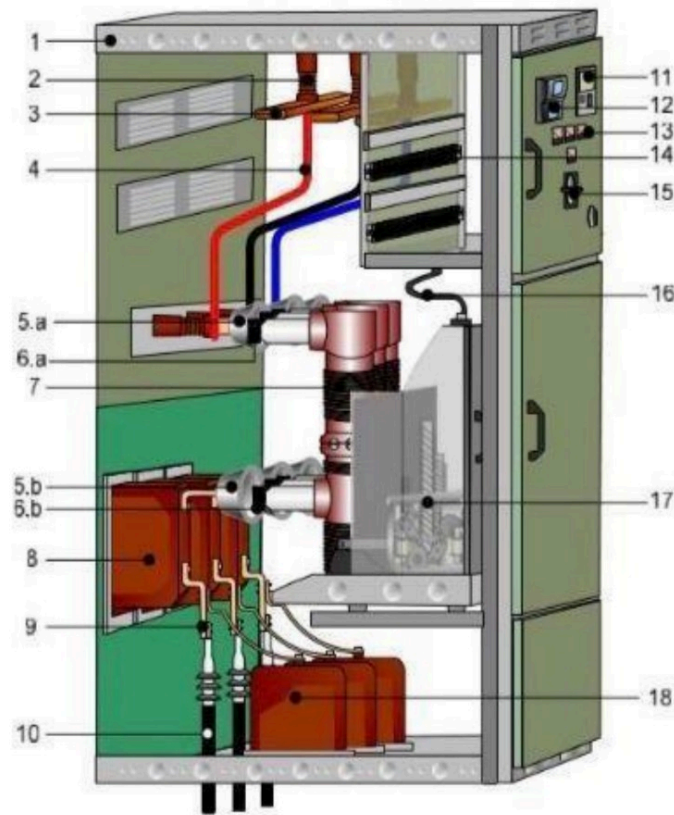
Di mana E adalah energi yang dikonsumsi (Watt-jam), P adalah daya (Watt), dan t adalah waktu (jam).



Gambar 2.6 Bentuk Kubikel

2.7.1 Bagian Kubikel 20 kv

Kubikel 20 kV adalah jenis perangkat listrik yang terpasang di gardu induk dan berperan sebagai sistem distribusi 20 kV, pengaturan bantalan, dan penyalur perlindungan. Menurut referensi, salah satu gangguan yang sering terjadi pada kubikel 20 kV adalah ketika suhu dan kelembapan mencapai tingkat yang tinggi, hal ini dapat menyebabkan terbentuknya uap air yang menempel pada dinding kubikel dan mempengaruhi terjadinya korona. Sel biasanya terpasang di stasiun distribusi atau gardu, seperti struktur beton atau kios. Sumber utama listrik bagi konsumen adalah Gardu Induk, di mana selain trafo distribusi, terdapat beberapa komponen tambahan yang sesuai dengan kebutuhan, termasuk internal pair, pemutus beban, sakelar, isolator, busbar, sakelar vakum, kabel masukan atau keluaran, transformator instrumen atau pengukur, yang mencakup *Current Transformer* dan *Potential Transformer*.



Gambar 2.7 Bagian Kubikel

Deskripsi Bagian-bagian kubikel masuk berdasarkan gambar di atas adalah sebagai berikut:

1. Ruang penyimpanan
2. Isolator posisi
3. Rel/busbar
4. Penurun
5. a/b. Penutup isolasi
6. a/b. Kontak yang dapat bergerak
7. Tempat membuka dan menutup kontak utama
8. Transformator arus (CT)
9. Terminal keluar utama
10. Kabel tenaga
11. Relay
12. Meter kWh

13. Ampere meter
14. Terminal kawat kontrol
15. Tombol PMT Buka/Tutup
16. Kabel penghubung kontrol antara terminal kontrol dengan mekanik penggerak
17. Mekanik penggerak
18. Transformator potensial

Ketika tegangan bolak-balik diterapkan pada dua elektroda dengan penampang kecil dibandingkan dengan jarak antara keduanya, kemungkinan terjadinya efek korona akan meningkat. Pada tegangan yang rendah, tidak ada yang terjadi. Namun, seiring dengan peningkatan tegangan, efek korona secara perlahan mulai terbentuk. Jika tegangan terus meningkat, busur api dapat terbentuk. Hal ini dapat dipastikan dengan menggunakan wattmeter yang memanfaatkan korona untuk menghasilkan panas. Dalam kondisi yang lembab, korona dapat mendeteksi keberadaan asam nitrat yang berpotensi menyebabkan kebakaran pada motor listrik saat suhu tinggi. Apabila tegangan yang diberikan bersifat searah, elektroda positif korona akan menunjukkan cahaya yang merata di permukaan elektroda, sementara elektroda negatif akan menunjukkan sedikit cahaya, yang dapat mengakibatkan elektron melarikan diri dan menyebabkan pendaran pada bagian luar. Selain memicu ionisasi molekuler, tumbukan elektron juga mengakibatkan perpindahan elektron dari orbit asalnya ke orbit yang lebih tinggi.

2.7.2 Fungsi Kubikel

1. Pengendalian sirkuit dilakukan melalui saklar utama.
2. Perlindungan sirkuit dilakukan oleh pemutus arus atau pemutus fase.
3. Pembagian sirkuit dilakukan dengan membagi arus ke jalur atau kelompok yang terpisah (busbar).

2.7.3 Komponen- Komponen Kubikel

a. Kubikel Incoming

Kubikel *Incoming* berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke busbar 20 kV. Tegangan 20 kV dari sisi sekunder trafo masuk ke dalam busbar 20 kV yang berada di dalam kubikel 20 Kv.

Adapun komponen-komponen incoming adalah sebagai berikut:

1. Busbar



Gambar 2.8 Busbar

Busbar digunakan untuk mengumpulkan daya listrik dengan tegangan 20 kV serta membaginya ke tempat-tempat yang diperlukan. Busbar dibuat dari tembaga atau aluminium dengan bentuk sesuai dengan desain dari masing pabrik. Pada bagian busbar dari kubikel yang bertugas mengumpulkan daya listrik dengan tegangan 20 kV, lalu mendistribusikannya ke lokasi yang membutuhkan. Komponen ini terletak di bagian atas kubikel dan biasanya terbuat dari tembaga atau aluminium.

Busbar adalah elemen berupa batang logam atau pelat konduktor yang memiliki peran penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Fungsi utama busbar adalah untuk mengumpulkan arus listrik dari sumber dan mendistribusikannya ke berbagai jalur atau perangkat dalam sistem tersebut. Dalam konteks kubikel 20 kV, busbar berperan sebagai penghubung utama yang menyatukan berbagai komponen penting dari sistem, seperti pemutus tenaga (*circuit breaker*), *switchgear*, dan transformer. Dengan kata lain, busbar memastikan bahwa arus listrik dapat mengalir secara efisien dari satu komponen ke komponen lainnya, memfasilitasi distribusi tenaga yang stabil dan terkoordinasi dalam kubikel 20 kv.

Rumus Arus Maksimum pada Busbar

$$I = \frac{S}{V}$$

- I: Arus maksimum yang bisa ditangani oleh busbar (Ampere, A)
- S: Daya nyata atau total yang dialirkan (Volt-Ampere, VA)
- V: Tegangan sistem (Volt, V)

Penjelasan: Rumus ini berguna untuk menghitung arus maksimum yang bisa dialirkan melalui busbar, berdasarkan jumlah daya yang disalurkan dan tegangan sistem yang digunakan. Pada kubikel 20 kV, busbar harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan arus maksimum tersebut tanpa menimbulkan panas berlebih atau kerusakan pada sistem.

Rumus Penurunan Tegangan pada Busbar (ΔV):

$$\Delta V = I \times Z$$

- ΔV : Penurunan tegangan yang terjadi pada busbar (Volt, V)
- I: Arus yang mengalir melalui busbar (Ampere, A)
- Z: Impedansi busbar (Ohm, Ω)

Penjelasan: Penurunan tegangan terjadi ketika arus mengalir melalui busbar yang memiliki impedansi tertentu. Dalam sistem distribusi listrik, penting untuk meminimalkan penurunan tegangan ini agar tegangan yang diterima oleh setiap beban tetap berada dalam batas yang diinginkan.

Rumus Daya Rugi-Rugi pada Busbar (P_{loss}):

$$P_{\text{loss}} = I^2 \times R$$

- P_{loss} : Daya yang hilang atau rugi-rugi daya pada busbar (Watt, W)
- I: Arus yang mengalir melalui busbar (Ampere, A)
- R: Resistansi busbar (Ohm, Ω)

Penjelasan Rugi-rugi daya merupakan energi yang hilang dalam bentuk panas akibat resistansi yang ada pada busbar. Untuk menjaga efisiensi distribusi daya, rugi-rugi ini harus ditekan sekecil mungkin. Oleh karena itu, pemilihan material dan ukuran busbar sangat penting agar resistansi dan rugi-rugi daya dapat diminimalkan.

Dalam konteks kubikel 20 kV, busbar berfungsi sebagai jalur utama yang memastikan aliran daya listrik dari sumber tegangan menengah menuju berbagai perangkat dan beban di dalam sistem. Efisiensi dan keamanan distribusi listrik sangat bergantung pada desain dan kapasitas busbar, karena busbar harus mampu mengalirkan arus yang tinggi tanpa mengalami panas berlebih atau kerugian daya yang signifikan. Penurunan tegangan yang terjadi sepanjang busbar harus diminimalkan agar tegangan yang diterima oleh setiap beban tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan operasional.

Secara keseluruhan, busbar adalah komponen penting yang memastikan distribusi listrik yang efisien, terstruktur, dan aman dalam sistem distribusi listrik, terutama pada kubikel 20 kV. Desain busbar yang tepat, termasuk pemilihan material, ukuran, dan kapasitas arus, sangat penting untuk menjaga keandalan dan efisiensi sistem distribusi listrik.

2. PMS(Pemisah)



Gambar 2.9 PMS (Pemisah)

Disconnecting switch (DS) atau Pemisah (PMS) adalah perangkat dalam sistem tenaga listrik yang bertugas sebagai saklar pemisah yang dapat memutus dan

menghubungkan rangkaian dalam keadaan tanpa beban. Proses pembukaan dan penutupan PMS terinterkoneksi dengan PMT dan saklar pentanahan (*Earthing Switch*). Mekanisme interkoneksi tersebut meliputi:

1. PMS tidak dapat ditutup saat PMT berada dalam posisi tertutup.
2. Saklar pentanahan hanya dapat ditutup jika PMS dalam keadaan terbuka.
3. PMS hanya dapat ditutup ketika PMT dan Earthing Switch dalam posisi terbuka.
4. Saklar pentanahan, atau *Earthing Switch*, digunakan saat melakukan pemeliharaan pada sistem dan untuk menghilangkan tegangan akibat kapasitansi dengan menghubungkan saluran yang bertenaga ke tanah.

➤ Pemisah Beban (*Load Break Switch*)

Alat ini digunakan untuk memutuskan atau menyambungkan beban dalam kondisi operasi normal. Fungsinya adalah untuk mengendalikan arus dalam situasi operasional biasa, namun tidak dirancang untuk memutuskan arus pada kondisi gangguan atau kejadian luar biasa.

➤ Pemisah Isolasi (*Isolating Switch*)

Alat ini digunakan untuk memutuskan bagian dari sistem dari aliran listrik ketika tidak ada beban atau arus yang sangat rendah. Fungsinya adalah untuk memungkinkan pemeliharaan pada bagian sistem yang telah terisolasi dari sumber daya listrik.

➤ Pemisah Otomatis (*Automatic Switch*)

Alat ini berfungsi untuk memutuskan sirkuit secara otomatis berdasarkan kondisi tertentu, seperti arus lebih atau tegangan lebih. Biasanya, pemisah otomatis ini terintegrasi dengan sistem proteksi otomatis untuk merespons kondisi abnormal secara cepat.

➤ Rumus-Rumus Terkait Pemisah:

1. Arus Maksimum pada Pemisah ($I_{\max}$)

$$I_{\max} = \frac{S}{V}$$

- $I_{\max}$: Arus maksimum yang dapat ditangani oleh pemisah (Ampere, A)
- S: Daya nominal sistem (Volt-Ampere, VA)

- V: Tegangan sistem (Volt, V)

Rumus ini digunakan untuk menentukan arus maksimum yang bisa ditangani oleh pemisah, berdasarkan daya sistem dan tegangan. Pemisah harus didesain untuk menanggapi arus ini tanpa mengalami kerusakan.

2. Kapasitas Pemisah (C)

$$C = \frac{Q}{V}$$

- C: Kapasitas pemisah (Farad, F)
- Q: Muatan yang disimpan oleh pemisah (Coulomb, C)
- V: Tegangan sistem (Volt, V)

Kapasitas pemisah mengacu pada kemampuan pemisah dalam menyimpan muatan listrik. Ini penting untuk pemisah yang memerlukan penyimpanan energi.

3. Rugi-Rugi Daya pada Pemisah (P_{loss})

$$P_{loss} = I \times R$$

- P_{loss}: Daya yang hilang atau rugi-rugi daya pada pemisah (Watt, W)
- I: Arus yang mengalir melalui pemisah (Ampere, A)
- R: Resistansi pemisah (Ohm, Ω)

Rugi-rugi daya merujuk pada energi yang hilang dalam bentuk panas akibat resistansi pemisah. Dalam sistem distribusi, rugi-rugi ini perlu diminimalkan untuk meningkatkan efisiensi. Secara keseluruhan, pemisah adalah komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, yang berfungsi untuk mengontrol dan memisahkan bagian dari sistem agar operasi tetap aman dan efisien. Desain dan perhitungan yang tepat dari pemisah sangat penting untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem distribusi listrik.

Dalam kondisi normal, saklar pentanahan berada dalam posisi terbuka, dan jika terjadi gangguan seperti hubung singkat pada saluran transmisi, saklar pentanahan akan ditutup untuk membebaskan tegangan pada saluran transmisi.

1. Heater



Gambar 2.10 Heater

Heater adalah alat yang berfungsi untuk menjaga komponen-komponen kubikel dari kelembapan udara, karena kelembapan udara bisa menimbulkan bercak-bercak kotoran sehingga bercak kotoran akan menjadi karatan di peralatan kubikel. Alat ini di operasikan pada tegangan 220 Volt dan akan tetap beroperasi walaupun kubikel dalam kondisi normal/off maupun saat terhubung ke bumi. Heater juga terdapat pada Kubikel Metering dan *Outgoing*. engan menjaga suhu di dalam kubikel, heater dapat membantu memperpanjang umur operasional peralatan listrik dengan mencegah kerusakan akibat perubahan suhu yang drastis atau kondisi lingkungan yang tidak ideal.

Heater untuk melindungi komponen-komponen dalam kubikel dari kelembapan udara, yang dapat menyebabkan terbentuknya bercak-bercak kotoran dan karatan pada peralatan. Kelembapan yang tinggi dalam kubikel dapat mengakibatkan korosi pada komponen listrik, yang berpotensi menurunkan kinerja dan umur perangkat. Heater ini dioperasikan dengan tegangan 220 Volt dan dirancang untuk tetap aktif bahkan saat kubikel dalam kondisi normal atau mati, serta saat terhubung ke sistem grounding. Heater juga digunakan pada berbagai jenis kubikel, termasuk kubikel metering dan outgoing. Dengan berfungsinya heater, kelembapan di dalam kubikel dapat dikendalikan, memastikan komponen tetap bersih dan berfungsi dengan baik, serta mengurangi risiko kerusakan akibat korosi.

B. Kubikel Metering



Gambar 2.11 Kubikel Metering

Kubikel Metering dilengkapi dengan perangkat pengukur, seperti meteran energi, yang bertugas mencatat konsumsi energi listrik dalam sistem distribusi. Fungsi pengukuran ini sangat penting untuk proses penagihan, pemantauan, dan pengelolaan energi secara keseluruhan. Kubikel ini juga memungkinkan pemantauan kondisi sistem distribusi tenaga listrik secara real-time. Ini mencakup pemantauan tegangan, arus, dan daya untuk memastikan bahwa sistem beroperasi sesuai dengan parameter yang telah ditentukan serta mendeteksi masalah potensial sebelum berkembang menjadi gangguan serius. Kubikel Metering sering dilengkapi dengan peralatan pengendalian akses, seperti *switchgear* atau pemutus sirkuit. Peralatan ini memungkinkan pengendalian dan isolasi bagian tertentu dari sistem distribusi saat diperlukan, guna meningkatkan keamanan dan operasional sistem. Kubikel Metering menyediakan pengukuran yang akurat dan andal dari konsumsi energi, yang penting untuk perhitungan tagihan dan analisis efisiensi energi. Dengan pemantauan yang terus-menerus, kubikel ini membantu dalam deteksi masalah listrik pada tahap awal, mengurangi risiko gangguan sistem dan kerusakan. Informasi yang dikumpulkan oleh kubikel metering dapat digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan konsumsi energi yang lebih baik, serta untuk perbaikan dan optimasi sistem distribusi.

Kubikel ini didesain untuk tujuan pengukuran, dilengkapi dengan perangkat pengukuran seperti amperemeter, voltmeter, dan wattmeter. Selain itu, kubikel ini

juga dilengkapi dengan perangkat proteksi seperti fuse.

Adapun alat-alat yang terdapat dalam kubikel metering sebagai berikut:

1. fuse



Gambar 2.12 Fuse (Sekering)

Di dalam kubikel terdapat sebuah komponen yang disebut sebagai solefuse, yang berfungsi sebagai sekering tegangan menengah. Komponen ini bertugas melindungi trafo tegangan dari berbagai gangguan. Fuse berfungsi sebagai perlindungan bagi peralatan listrik di dalam kubikel. Ketika arus melebihi batas yang telah ditentukan mengalir melalui fuse, fuse akan terputus atau terbakar, sehingga memutus aliran listrik dan menghindari kerusakan lebih lanjut pada peralatan.

Fuse dirancang untuk melindungi sirkuit listrik dari kerusakan akibat arus lebih. Ketika arus yang mengalir melebihi batas kapasitas fuse, elemen di dalam fuse akan meleleh, memutuskan aliran listrik, dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem atau peralatan. Dengan memutuskan sirkuit saat terjadi arus lebih, fuse membantu mencegah potensi kebakaran yang dapat disebabkan oleh overcurrent yang menyebabkan pemanasan berlebih pada kabel dan peralatan listrik. Fuse melindungi peralatan listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh lonjakan arus atau hubung singkat (*short circuit*) yang dapat merusak komponen elektronik.

2. Trafo Tegangan (Potensial Transformer)



Gambar 2.13 Potensial transformer

Trafo tegangan berperan dalam mengubah tegangan tinggi atau tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Fungsinya adalah untuk menyesuaikan tegangan dengan kebutuhan alat-alat pengukuran. Trafo ini terhubung dengan jaringan tegangan 20 kV melalui sebuah perantara fuse. Transformator ini dirancang khusus untuk mengukur tegangan tinggi dalam sistem kelistrikan dan mengurangnya ke tingkat tegangan yang lebih rendah, sehingga dapat diukur dengan aman menggunakan alat ukur standar. PT digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk menyediakan isolasi antara peralatan pengukuran dan tegangan tinggi dari jaringan listrik, serta untuk menstandarkan output ke tingkat yang dapat diukur dan dianalisis dengan alat ukur. Trafo tegangan mengurangi tegangan tinggi ke tingkat yang lebih rendah, biasanya menjadi 100 atau 110 volt, sehingga dapat diukur dengan aman menggunakan voltmeter, wattmeter, atau alat ukur lainnya.

Rumus transformator tegangan menyatakan bahwa tegangan pada sisi sekunder dari transformator berbanding langsung dengan tegangan pada sisi primer dan rasio jumlah lilitan antara kumparan sekunder (N_s) dan kumparan primer. Rumus ini dapat ditulis sebagai:

$$V_s = V_p \times \frac{N_s}{N_p}$$

Dimana:

- V_s adalah tegangan sekunder yang dihasilkan oleh transformator (dalam vol)
- V_p adalah tegangan yang diberikan pada kumparan primer (dalam volt, V)
- N_s adalah jumlah lilitan kawat pada kumparan sekunder
- N_p adalah jumlah lilitan kawat pada kumparan primer

Penjelasan: Dalam sistem kubikel 20 kV, transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik sesuai kebutuhan. Rumus ini menggambarkan bagaimana perubahan jumlah lilitan pada kumparan primer dan sekunder mempengaruhi tegangan yang dihasilkan atau diterima oleh transformator. Rasio antara lilitan ini menentukan apakah tegangan akan naik (step-up) atau turun (step-down), yang merupakan prinsip dasar dalam pengoperasian transformator. Desain dan operasi kubikel 20 kV harus memperhitungkan hal ini untuk memastikan distribusi listrik yang aman dan efisien.

C. Kubikel Outgoing



Gambar 2.14 Kubikel Outgoing

Kubikel *outgoing* merupakan kubikel penghubung antara busbar 20 kV yang berada di dalam kubikel dengan jaringan tegangan menengah. Pada kubikel outgoing terdapat *Circuit Breaker* (CB).

1. Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Pemutus tenaga atau *Circuit Breaker* adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan ratingnya. Circuit breaker ini dapat dioperasikan secara otomatis maupun manual

dengan waktu pemutus atau penyambungan yang tetap sama, sebab factor ini ditentukan oleh struktur mekanisme yang menggunakan pegas.

2. Trafo Arus (*current transformer*)



Gambar 2.15 Trafo arus (*current transformer*)

Current Transformer (CT) adalah suatu peralatan transformator yang diletakkan dalam rangkaian tenaga listrik yang berguna sebagai peralatan ukur yang dihubungkan dengan relay pengaman. Dengan transformator arus dapat diperluas batas pengukuran suatu alat ukur.

Pengukuran Arus Trafo arus memungkinkan pengukuran arus besar dengan mengubahnya menjadi arus yang lebih kecil, yang bisa diukur dengan alat ukur standar. Hal ini penting dalam sistem tegangan tinggi karena memungkinkan pengukuran tanpa risiko langsung dari arus tinggi. Isolasi Listrik CT memberikan isolasi antara sirkuit tegangan tinggi dan alat ukur, sehingga meningkatkan keselamatan operasi dan perlindungan peralatan. Proteksi Sistem Trafo arus digunakan dalam sistem proteksi untuk mendeteksi kondisi arus berlebih atau gangguan seperti hubung singkat. Arus yang dihasilkan oleh CT dapat digunakan untuk mengaktifkan relai proteksi, yang kemudian dapat memutus aliran listrik untuk melindungi sistem.

2.8 Sistem Monitoring Tegangan Listrik

Sistem monitoring listrik pada kubikel 20 kV adalah teknologi yang dirancang untuk memantau dan mengontrol kondisi operasional kubikel dalam sistem distribusi tenaga listrik bertegangan 20 kV. Teknologi ini bertujuan untuk

memastikan bahwa kinerja, keamanan, dan efisiensi sistem distribusi listrik tetap optimal. Berikut adalah uraian lengkap mengenai sistem monitoring listrik pada kubikel 20 kV.

pengumpulan Data Sensor yang dipasang pada kubikel secara terus-menerus mengumpulkan informasi mengenai berbagai parameter seperti arus, tegangan, dan suhu. Data yang diperoleh dari sensor ini kemudian dikirimkan ke unit pengumpulan data untuk diproses lebih lanjut Analisis dan Pemrosesan Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diproses dan dianalisis menggunakan perangkat lunak monitoring. Proses ini bertujuan untuk menilai kinerja sistem dan mendeteksi adanya anomali atau masalah yang mungkin timbul Notifikasi dan Alarm Apabila data yang diperoleh menunjukkan adanya masalah atau kondisi yang tidak normal, sistem dapat mengirimkan notifikasi atau alarm kepada operator. Pemberitahuan ini bisa berupa pesan teks, email, atau notifikasi melalui aplikasi untuk memastikan tindakan segera dapat diambil Tindakan Preventif Berdasarkan hasil analisis data, tindakan preventif dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Ini termasuk penyesuaian beban, perbaikan, atau pemutusan bagian dari sistem untuk melindungi peralatan dari kerusakan.

➤ **Komponen Utama Sistem Monitoring Listrik:**

1. Sensor dan Pengukur

- Sensor Tegangan Menilai tegangan di berbagai titik dalam sistem kubikel.
- Sensor Arus: Mengawasi aliran arus listrik melalui sirkuit.
- Sensor Temperatur Mengukur suhu pada komponen kunci untuk mencegah panas berlebih.
- Sensor Kelembaban Memantau tingkat kelembaban di dalam kubikel untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh kelembaban tinggi.

2. Pengukuran Energi

- Meter Energi: Mengukur konsumsi energi, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya.
- Data Logger: Mencatat data pengukuran untuk periode tertentu untuk analisis lebih mendalam.

3. Perangkat Pemantauan dan Kontrol

- SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) Sistem yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian dari lokasi yang jauh.
- PLC (*Programmable Logic Controller*) Mengatur proses dan otomatisasi sistem berdasarkan data yang diterima dari sensor.
- HMI (*Human-Machine Interface*) Antarmuka pengguna yang menampilkan informasi sistem dalam format yang mudah dimengerti.

4. Komunikasi dan Jaringan:

- Protokol Komunikasi: Menyediakan jalur untuk komunikasi antara sensor, perangkat pemantauan, dan sistem kontrol.
- Jaringan Data: Menghubungkan berbagai perangkat dalam sistem monitoring untuk pengiriman data.

➤ Fungsi Sistem Monitoring Listrik:

1. Pemantauan Kondisi Sistem:

- Pemantauan Langsung: Mengawasi kondisi sistem secara real-time untuk cepat mendeteksi potensi masalah.
- Deteksi Gangguan: Menemukan anomali atau gangguan seperti arus lebih, tegangan berlebih, atau overheating.

2. Pengendalian dan Perlindungan:

- Proteksi: Mengaktifkan fitur perlindungan seperti pemutusan otomatis atau alarm saat kondisi berbahaya terdeteksi.
- Kontrol: Mengatur perangkat seperti pemutus sirkuit atau sakelar berdasarkan data yang dikumpulkan.

3. Analisis dan Pelaporan:

- Analisis Data: Menilai data operasional untuk mengidentifikasi atau masalah yang mungkin timbul.
- Pelaporan: Menyediakan laporan mengenai kinerja sistem, efisiensi, dan isu-isu yang teridentifikasi.

4. Peningkatan Efisiensi:

- Optimasi: Meningkatkan penggunaan energi dan efisiensi sistem berdasarkan data yang tersedia.
- Pemeliharaan *Preventif* Mengidentifikasi kebutuhan pemeliharaan sebelum terjadi kerusakan yang serius.

➤ Keuntungan Sistem Monitoring Listrik

1. Keamanan:

- Deteksi Dini Menemukan masalah lebih awal untuk mencegah kerusakan atau kecelakaan.
- Proteksi Otomatis Menyediakan perlindungan otomatis terhadap kondisi abnormal.

2. Efisiensi Operasional

- Optimasi Memaksimalkan penggunaan energi dan mengurangi pemborosan.
- Pemeliharaan Tepat Waktu Memungkinkan pemeliharaan dilakukan secara tepat waktu untuk mengurangi down time.

3. Pengelolaan Data

- Data Menyimpan data historis untuk analisis tren dan perencanaan jangka panjang.
- Pelaporan Terperinci Menyediakan laporan mendetail untuk evaluasi dan pengambilan keputusan.

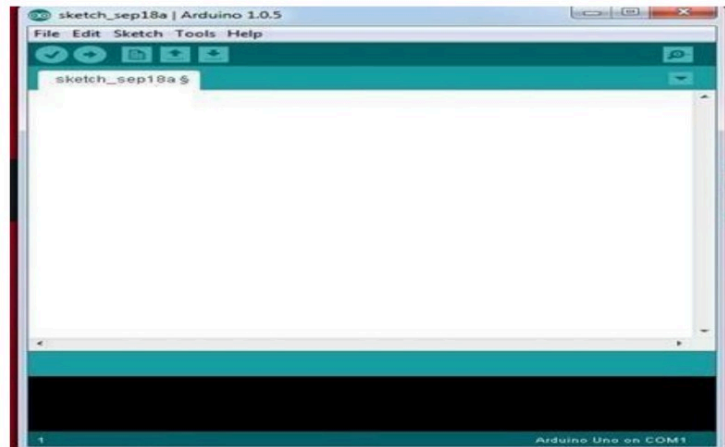
Sistem monitoring listrik pada kubikel 20 kV merupakan elemen penting dalam manajemen distribusi tenaga listrik. Dengan memantau dan menganalisis data secara real-time, sistem ini memastikan bahwa distribusi tenaga berlangsung dengan aman dan efisien. Melalui pengendalian, perlindungan, dan optimasi, sistem monitoring berperan vital dalam menjaga stabilitas dan keandalan sistem distribusi listrik.

2.8 Perangkat Lunak Arduino IDE

NodeMCU dapat diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Arduino IDE adalah sebuah *software* yang kuat yang ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman IDE sendiri merupakan singkatan dari *Integrated Development Environment*, yang secara sederhana dapat diartikan sebagai

lingkungan pengembangan terpadu. Dalam konteks penggunaannya, Arduino IDE menyediakan lingkungan yang terintegrasi untuk melakukan pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk platform Arduino. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat memprogram fungsi-fungsi yang ingin diimplementasikan pada perangkat keras, menggunakan sintaks pemrograman yang mirip dengan bahasa C++ IDE Arduino mencakup berbagai fitur yang mendukung proses pengembangan, seperti penyusunan kode, debugging, dan pengunggahan program ke papan Arduino terdiri dari :

1. Pengedit program adalah sebuah jendela yang memungkinkan pengguna untuk menulis dan mengedit kode dalam bahasa pemrosesan.
2. Proses Verifikasi adalah sebuah modul yang mengonversi kode program (dalam bahasa pemrosesan) menjadi kode biner. Karena sebuah *mikrokontroler* tidak dapat memahami bahasa pemrosesan, yang dapat dimengerti oleh *mikrokontroler* adalah kode biner. Oleh karena itu, proses verifikasi diperlukan dalam konteks ini.
3. Pengunggahan adalah sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori NodeMCU. Kode program Arduino umumnya disebut sebagai "sketsa". Istilah "sketsa" digunakan secara bergantian dengan "kode program", keduanya memiliki arti yang sama.
4. Pembuatan Sketsa Baru, membuka jendela baru dan membuat sketsa baru.
5. Membuka Sketsa, membuka sketsa yang sudah ada sebelumnya. Sketsa yang dibuat dengan IDE Arduino biasanya disimpan dengan ekstensi file `.ino`.
6. Menyimpan Sketsa, menyimpan sketsa tanpa melakukan kompilasi.
7. Monitor Serial, membuka antarmuka untuk komunikasi serial.



Gambar 2.16 Tampilan Arduino IDE

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT.Pelindo JL.Sumatera, Belawan 1, Medan kota Belawan, kota Medan, Sumatera Utara 20411, Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-juni 2024.

3.2 Bahan Dan Peralatan Penelitian

Pada tahap penelitian ini memerlukan beberapa alat dan bahan yang diperlukan antara lain:

3.2.1 Bahan yang Digunakan

Beberapa bahan yang digunakan untuk melakukan tahap perencanaan termasuklah:

1. MCB 3 Phase Merupakan perangkat yang berperan sebagai pemutus aliran listrik dan pelindung dari kondisi beban berlebih (*Overload*) serta hubung singkat (*Short Circuit*) pada sistem listrik tiga fasa (R S T).
2. *Magnetic Contactor* Merupakan suatu komponen listrik berbentuk sakelar yang digunakan untuk mengatur aliran listrik, baik sebagai pengendali motor maupun komponen listrik lainnya, terutama dalam sistem kontrol industri.
3. Transformator CT Merupakan komponen listrik yang berfungsi mengubah arus listrik pada sistem tenaga dari tingkat primer menjadi tingkat sekunder, umumnya untuk keperluan pengukuran dan perlindungan dalam sistem metering.
4. Busbar Adalah rangkaian konduktor yang terdiri dari pelat tembaga atau aluminium yang digunakan untuk mendistribusikan energi listrik dalam panel kelistrikan sesuai kebutuhan.
5. Switch Voltmeter Merupakan alat pengatur yang digunakan untuk memilih tegangan listrik antara tiga fase (R S T) dan antara fase dengan netral (N) yang akan diukur menggunakan voltmeter.
6. Amperemeter AC Adalah alat pengukur yang berfungsi untuk mengukur kuat arus listrik yang mengalir dalam sebuah rangkaian listrik AC. Amperemeter

dipasang secara seri dengan hambatan dalam rangkaian AC.

7. Voltmeter AC Adalah alat pengukur yang berfungsi untuk mengukur tegangan listrik AC yang dipasang secara paralel dalam rangkaian listrik.
8. Lampu Indikator Merupakan komponen yang digunakan untuk menunjukkan apakah suatu rangkaian bekerja dengan benar atau tidak, serta berfungsi sebagai peringatan jika terjadi sesuatu yang tidak diinginkan.

3.2.2 Metode Pengumpulan Data

Data diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung terhadap parameter listrik di kubikel 20 kV menggunakan sistem monitoring berbasis Nodemcu esp 8266. Pengukuran dilakukan dalam periode waktu tertentu untuk memastikan bahwa data yang terkumpul mewakili kondisi yang sebenarnya. Parameter yang diukur meliputi:

- Tegangan (volt)
- Arus (Ampere)
- Daya
- Tegangan

1. Tegangan Nominal

- Tegangan Nominal: kubikel beroperasi tegangan standar 20 kv (20.000 volt) yang digunakan dalam sistem distribusi listrik tegangan menengah. Dalam sistem listrik standar, tegangan fase sering kali adalah 220 V. Untuk sistem tiga fase dengan tegangan fase sebesar 220 V, tegangan linier dihitung sebagai berikut:

$$V_{\text{linier}} = \sqrt{3} \times 220 \text{ V} \approx 380 \text{ V}$$

2. Pengukuran Tegangan

- Tegangan masukan dan keluaran pada kubikel 20 kv penting untuk mengukur tegangan di sisi input dan output guna memastikan distribusi energi yang aman dan tepat.
- Pengukuran Tegangan Fase: dilakukan untuk setiap fase dalam sistem tiga fase guna memastikan keseimbangan tegangan.

3. Alat Ukur

- Potential Transformer (PT) digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi ke

level yang aman untuk pengukuran dan pengendalian.

- Voltmeter: sering digunakan di panel kontrol kubikel untuk menampilkan tegangan secara real time.

4. Penggunaan Data Tegangan

- Pemantauan Sistem: Data tegangan digunakan untuk memantau kinerja sistem dan mendeteksi anomali atau masalah dalam distribusi daya.
- Keandalan Sistem: Mempertahankan tegangan dalam batas normal sangat penting untuk memastikan keandalan dan efisiensi operasi jaringan listrik.

5. Variasi Tegangan

- Fluktuasi Tegangan: perubahan dan kondisi jaringan dapat menyebabkan variasi tegangan pemantauan yang konsisten
- membantu dalam mendeteksi dan menanggapi perubahan

6. Persyaratan Standar

- Regulasi: Tegangan harus dipertahankan dalam batas tertentu sesuai dengan standar industri dan peraturan keselamatan untuk menjamin operasi yang aman.
- Arus

1. Pengukuran Arus

- Arus masuk dan keluaran: Pengukuran arus dilakukan di sisi masukan dan keluaran kubikel untuk memastikan efisiensi distribusi daya dan mencegah terjadinya kelebihan beban.
- Pengukuran Arus Fase: Dalam sistem tiga fase, arus diukur pada setiap fase untuk mengidentifikasi ketidakseimbangan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem.

2. Alat Ukur

- Current Transformer (CT) Berfungsi untuk menurunkan arus tinggi menjadi level yang aman untuk diukur dengan instrumen standar.
- Ammeter: Alat yang digunakan untuk menampilkan arus secara langsung di panel kontrol kubikel.

3. Penggunaan Data

- Pemantauan Beban Data arus digunakan untuk memantau beban sistem dan memastikan bahwa arus tetap dalam batas aman, menghindari overheating dan kerusakan peralatan.
- Analisa Efisiensi Informasi mengenai arus membantu dalam menilai efisiensi distribusi daya serta mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki.

4. Keandalan Sistem

- Deteksi Kesalahan: Pemantauan arus memungkinkan deteksi dini terhadap kesalahan seperti hubung singkat atau kelebihan beban, yang dapat ditangani sebelum menimbulkan kerusakan besar.
- Pemeliharaan Preventif: Data arus berguna dalam merencanakan pemeliharaan preventif untuk meningkatkan keandalan sistem.
- Daya

1. Daya Aktif (*Real Power*)

- Daya Aktif: Energi yang digunakan untuk melakukan pekerjaan, umumnya diukur dalam megawatt (MW). Contohnya, untuk kubikel dengan kapasitas 20 MVA, daya aktifnya bisa mendekati nilai tersebut, tergantung pada faktor daya.

Rentang Pengukuran: 0 hingga 20 kW

$$\text{Resolusi Daya Aktif} = \frac{20KW}{100} = 0,2 \text{ KW}$$

Resolusi: Untuk akurasi $\pm 1\%$ dari rentang penuh, resolusi daya aktif adalah:

Daya aktif dihitung berdasarkan arus, tegangan, dan faktor daya ($\cos \phi$).

$$P = \sqrt{3} \times \text{Vantar-fase} \times \text{Irata-rata} \times \cos \phi$$

2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

- Daya Reaktif Energi yang diperlukan untuk menghasilkan dan mempertahankan medan magnet dalam sistem, diukur dalam megavolt-ampere reaktif (MVAR). Besarannya bervariasi sesuai dengan kebutuhan sistem dan pengaturan faktor daya.

$$Q = \sqrt{3} \times \text{Vantar-fase} \times \text{Irata-rata} \times \sin \phi$$

Rentang Pengukuran: 0 hingga 20 kVAR

Resolusi: Dengan akurasi $\pm 1\%$, resolusi daya reaktif adalah:

$$\text{Resolusi Daya Reaktif} = \frac{20kVAR}{100} = 0,2 \text{ kVAR}$$

3. Daya Tampak (Apparent Power)

- Daya Tampak Jumlah total daya yang disuplai ke sistem, diukur dalam megavolt-ampere (MVA). Untuk kubikel 20 kV dengan kapasitas 20 MVA, daya tampak akan sesuai dengan kapasitas tersebut, dengan pembagian daya aktif dan reaktif bergantung pada faktor daya.

3.3 Kebutuhan *Hardware*

Berikut ini adalah beberapa kebutuhan hardware untuk mendukung sistem yang di buat berjalan sesuai keinginan.

1. Nodemcu ESP8266 adalah salah satu papan pengembangan yang berasal dari chip ESP8266 yang memiliki kemampuan untuk menggunakan jaringan WiFi serta berfungsi sebagai mikrokontroler.
2. LCD 16x2 digunakan sebagai media untuk menampilkan data, termasuk karakter, huruf, atau grafik.
3. Sensor DHT 22 berfungsi sebagai alat pengukur suhu dan kelembaban.
4. RTC DS3231 berperan sebagai perangkat pewaktuan digital yang menyimpan informasi waktu dan tanggal secara real-time.

3.4 Kebutuhan *Software*

Di bawah ini disajikan beberapa perangkat lunak yang diperlukan untuk mendukung pengembangan sistem ini.

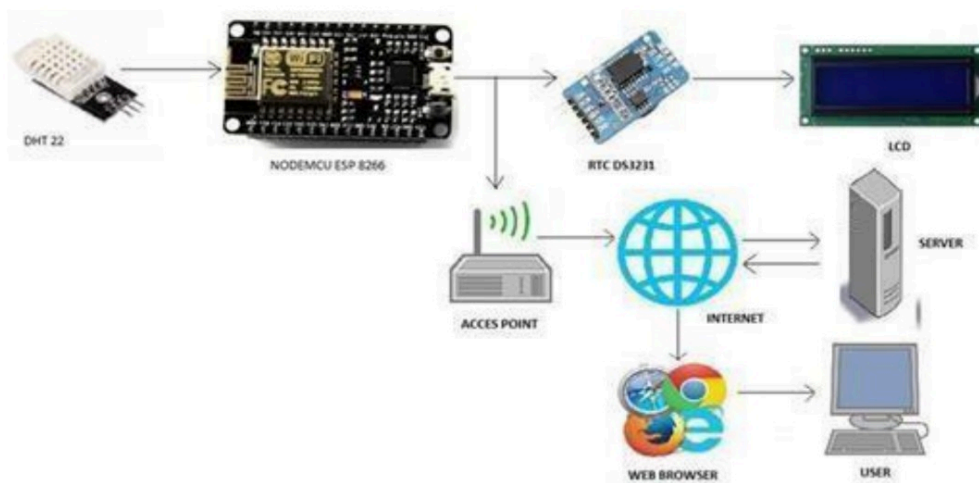
- a. Arduino IDE - Perangkat lunak Arduino yang diperlukan
- b. Fritzing - Aplikasi desain untuk membuat skema rangkaian
- c. XAMPP - Paket perangkat lunak yang menyediakan lingkungan server lokal untuk pengembangan web.

3.5 Perancangan Sistem

Dalam perancangan sistem ini, kami menguraikan secara komprehensif cara kerja keseluruhan sistem yang akan dikembangkan, dengan tujuan memfasilitasi pembuatan sistem pemantauan. NodeMCU ESP8266 adalah suatu perangkat mikrokontroler yang berfungsi untuk mengatur dan mengawasi peralatan listrik serta berinteraksi dengan jaringan Wi-Fi. Relay digunakan sebagai pengendali untuk peralatan listrik seperti lampu, kipas, atau perangkat lainnya. Sensor-sensor

seperti sensor suhu, kelembaban, arus, atau jenis sensor lainnya dapat dipasang untuk memonitor kondisi lingkungan atau peralatan. Pastikan untuk menyediakan sumber daya yang memadai untuk menjaga kestabilan operasional perangkat, termasuk catu daya yang cukup untuk NodeMCU dan peralatan yang terhubung. Lakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap sistem untuk memverifikasi kinerja optimal semua komponen. Perhatikan untuk melakukan pemeliharaan rutin dan pembaruan berkala pada sistem, termasuk perawatan perangkat keras dan perangkat lunak sesuai kebutuhan.

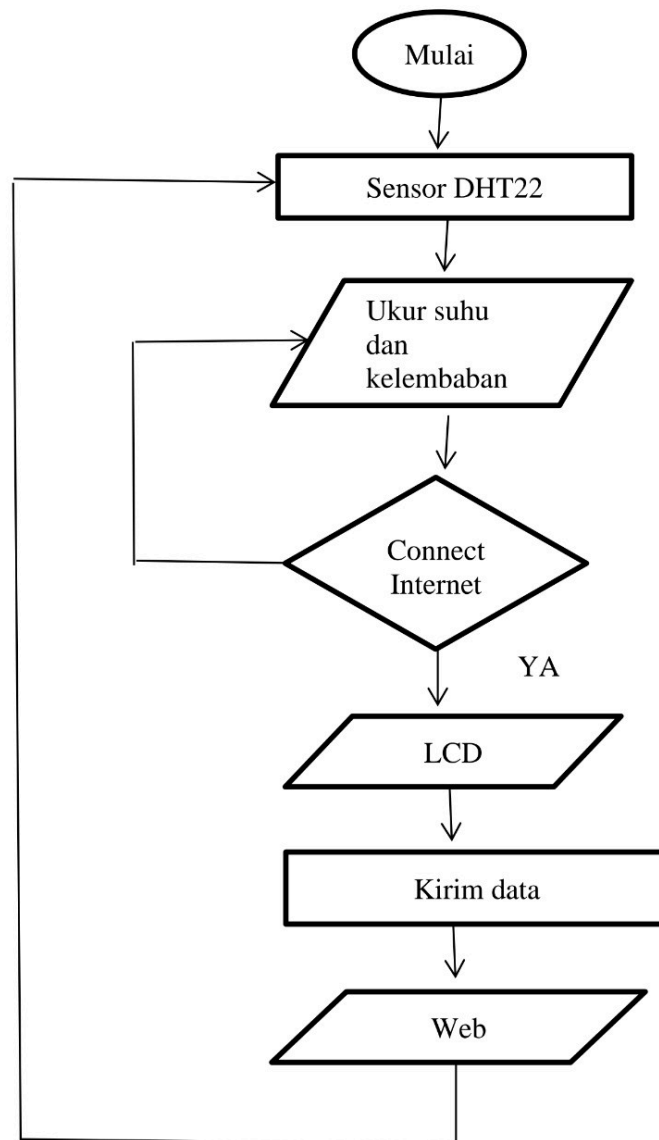
3.5.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Perangkat keras yang digunakan untuk membangun sistem pemantauan kubikel 20 KV ini melibatkan beberapa komponen, termasuk NodeMCU, sensor DHT22, LCD 16x2, RTC DS3231, dan kabel jumper. Selanjutnya, rangkailah semua komponen tersebut dan lakukan pemrograman pada NodeMCU untuk setiap komponen yang terhubung menggunakan bahasa pemrograman C agar dapat terintegrasi dan terhubung. Hal ini memungkinkan untuk menampilkan pembacaan dari sensor ke web, sesuai dengan konsep *Internet of Things* (IoT). Diagram di bawah ini menggambarkan bagaimana saat sensor DHT22 mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban di dalam kubikel, informasi tersebut akan ditampilkan pada layar LCD. Selanjutnya, jika NodeMCU terhubung ke jaringan Wi-Fi, NodeMCU akan mengirimkan pembacaan dari sensor DHT22 ke internet (Lestari et al., 2020)

3.2.2 Diagram Sistem



Gambar 3.5.2 Diagram Sistem

Spesifikasi Sistem

Dalam sistem pemantauan kubikel, beberapa perangkat keras digunakan. Berikut adalah spesifikasi sistem untuk pemantauan kubikel.

a. Nodemcu

- Tegangan *input* : 3,3 – 5v
- *Flash Memori* : 4 MB
- *Clock Speed* : 40/26/24 MHz
- Wifi : IEEE 802.11 b/g/n
- Frekuensi : 2,4 GHz – 2,5 GHz
- *Usb Port* : Micro USB

b. Sensor DHT22

- Tegangan *Input* : 5v
- *Range* pengukuran: -40°C - 80°C
- *Range* kelembaban: 0-100%

c. LCD

- Tegangan *Input* : 5v
- *I2C Address* : 0X20-0X27 (0X20 default)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang Analisa sistem monitoring kubikel 20 kv Menggunakan Nodemcu Esp 8266 berbasis web menunjukan bahwa fokus utama adalah menerapkan metode untuk menganalisis sistem monitoring tersebut. untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas sistem monitoring kubikel 20 kv. penerapan sistem pemantauan kubikel 20 kV yang telah diimplementasikan. Sistem ini terdiri dari perangkat keras yang menggunakan NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan sensor untuk mengukur parameter listrik, serta perangkat lunak berupa antarmuka web yang menampilkan data secara real-time. efektivitas dan efisiensi sistem pemantauan kubikel 20 kV.

4.1 Pengukuran Analisis performa sistem monitoring

Pengukuran terhadap analisis performa sistem monitoring merupakan sebuah proses evaluasi yang komprehensif untuk menilai seberapa baik sistem tersebut mampu melaksanakan tugas pemantauan terhadap kubikel 20 kV. Proses analisis ini melibatkan penilaian berbagai aspek kunci yang secara keseluruhan mencerminkan efektivitas dan kinerja sistem. Berikut ini adalah penjelasan rinci mengenai setiap aspek pengukuran yang dianggap penting dalam proses analisis performa sistem monitoring ini.

- **Akurasi:** Mengukur seberapa tepat data yang dihasilkan oleh sistem monitoring dalam menggambarkan kondisi nyata dari kubikel 20 kV.
- **Kecepatan:** Menilai kecepatan sistem dalam memproses dan menampilkan data secara real-time kepada pengguna.
- **Keterhandalan:** Mengevaluasi seberapa sering sistem mengalami kegagalan, berapa lama waktu tidak beroperasi (*downtime*), serta seberapa cepat sistem dapat dipulihkan, untuk memastikan keandalan sistem dalam operasional jangka panjang.

4.1.1 Pengukuran akurasi Sistem Monitoring

Akurasi merujuk pada tingkat kedekatan antara hasil pengukuran atau data yang diperoleh dari sistem monitoring dengan nilai atau kondisi sebenarnya. Dalam konteks ini, akurasi sistem monitoring kubikel 20 kV berarti kemampuan sistem tersebut untuk menghasilkan data yang hampir sama dengan kondisi nyata, seperti tegangan, arus, dan parameter lain pada kubikel 20 kv.



Gambar 4.1 Akurasi Sistem Monitoring

Akurasi merujuk pada tingkat kedekatan antara hasil pengukuran atau data yang diperoleh dari sistem monitoring dengan nilai atau kondisi sebenarnya. Dalam konteks ini, akurasi sistem monitoring kubikel 20 kV berarti kemampuan sistem tersebut untuk menghasilkan data yang hampir sama dengan kondisi nyata, seperti tegangan, arus, dan parameter lain pada kubikel.



Gambar 4.2 Akurasi Alat Ukur

Perhitungan Akurasi

- Akurasi Pengukuran: Akurasi absolut mengukur seberapa besar deviasi antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya.
- Rumus:
- Akurasi Pengukuran = $19,98 - 0.02$
- Akurasi Relatif: Akurasi relatif mengukur seberapa besar kesalahan sebagai

persentase dari nilai sebenarnya.

- Rumus: Akurasi Relatif (%) = $\frac{19,98}{0,02} \times 100\%$

Tabel 4.1 Data Pengukuran

Waktu (Jam)	Nilai Sebenarnya (kV)	Nilai yang Diukur (kV)	Akurasi Absolut (kV)	Akurasi Relatif (%)
08:10	20.00	19.98	0.02	0.10
08:20	20.00	20.05	0.05	0.25
08:30	20.00	19.97	0.03	0.15
08:40	20.00	20.03	0.03	0.15
08:30	20.00	19.99	0.01	0.05

➤ Langkah-langkah Perhitungan

Akurasi Mutlak :

- Untuk 08 :05: Akurasi Mutlak = $19.98 - 20.00 = 0,02 \text{ kv}$
- Untuk 08 :10: Akurasi Mutlak = $20.05 - 20.00 = 0,05 \text{ kv}$

Akurasi Relatif:

- Untuk 08:05: Akurasi Relatif (%) = $\frac{0,02}{20,00} \times 100 \% = 0,10 \%$
- Untuk 08:10: Akurasi Relatif (%) = $\frac{0,05}{20,00} \times 100\% = 0,25 \%$

Tabel ini menunjukkan seberapa akurat sistem monitoring dalam mengukur parameter tertentu. Akurasi rendah menunjukkan bahwa sistem monitoring berfungsi dengan baik, sedangkan akurasi tinggi menunjukkan adanya deviasi yang perlu diperbaiki. Pengujian dan perhitungan ini harus dilakukan secara berkala untuk memastikan sistem monitoring tetap dalam kondisi akurat.

4.1.2 Kecepatan Sistem monitoring Data Secara Real-Time

Kecepatan sistem monitoring merujuk pada kemampuan sistem untuk dengan cepat memproses data yang diterima dari sensor, melakukan analisis, dan menampilkan hasilnya kepada pengguna dalam waktu yang sangat singkat. Dalam konteks sistem monitoring di PT Pelindo Belawan, kecepatan ini sangat penting

untuk memastikan bahwa setiap perubahan dalam parameter seperti tegangan, arus, atau suhu dapat segera terdeteksi dan ditangani dengan cepat.

➤ Perhitungan Waktu Respons

Untuk menentukan 300 – 100

- Waktu Respons = Waktu Penyelesaian - Waktu Penerimaan
- Pada data diterima pada jam 12:00 / 100 dan diproses serta siap ditampilkan pada jam 12:00:00.300, maka perhitungan waktu respons adalah sebagai berikut:
- Waktu Respons = 12:00 / 300 - 12:00 / 100 = 200 ms

Tabel 4.2 Pengukuran Waktu Respons

No.	Waktu Penerimaan (Sensor)	Waktu Penyelesaian (Tampilan)	Waktu Respons (ms)
1.	12:00 / 100	300	200
2.	12:05 / 150	380	230
3.	12:10 / 220	500	280

1. Pengukuran 1

- Waktu Penerimaan: 12:00 / 100
- Waktu Penyelesaian: 12:00 / 300
- Waktu Respons: 12:00 / 300 - 12:00 / 100 = 200 ms

2. Pengukuran 2

- Waktu Penerimaan: 12:05 / 150
- Waktu Penyelesaian: 12:05 / 380
- Waktu Respons: 12:05 / 380 - 12:05 / 150 = 230 ms

3. Pengukuran 3

- Waktu Penerimaan: 12:10 / 220
- Waktu Penyelesaian: 12:10 / 500
- Waktu Respons: 12:10 / 500 - 12:10 / 220 = 280 ms

Waktu Respons adalah metrik krusial untuk mengevaluasi seberapa efisien sistem monitoring dalam memproses dan menampilkan data. Metrik ini menggambarkan waktu yang diperlukan dari saat data diterima hingga saat data siap ditampilkan kepada pengguna.

Waktu Respons yang rendah menunjukkan kinerja sistem yang baik, dengan kemampuan untuk memberikan informasi secara cepat dan tepat waktu. Pengukuran ini penting untuk menilai dan meningkatkan performa sistem agar sesuai dengan kebutuhan operasional dan memastikan respons yang cepat dan akurat.

4.1.3 Keterhandalan Sistem Monitoring

Keterhandalan merujuk pada kemampuan sistem untuk berfungsi secara konsisten dan dapat diandalkan tanpa gangguan selama periode waktu yang panjang. Hal ini mencakup evaluasi seberapa sering sistem mengalami kegagalan, durasi waktu sistem tidak aktif selama kejadian kegagalan (*downtime*), serta kecepatan sistem dalam pulih kembali setelah terjadinya kegagalan.

➤ Durasi Kegagalan (*Downtime*)

Durasi kegagalan mengukur total waktu sistem tidak beroperasi selama periode kegagalan.

Tabel 4.3 Data dan Perhitungan kegagalan

No	Waktu Mulai Kegagalan	Waktu Akhir Kegagalan	Durasi Kegagalan (jam)
1.	08:00 / 00	10:00 / 00	2
2.	14:00 /00	15:30/ 00	1,5
3.	18:00 / 00	20:00 / 00	2

Total Durasi Kegagalan (selama 2 hari): $2 + 1.5 + 2 = 5.5$ jam

➤ Waktu Pemulihan

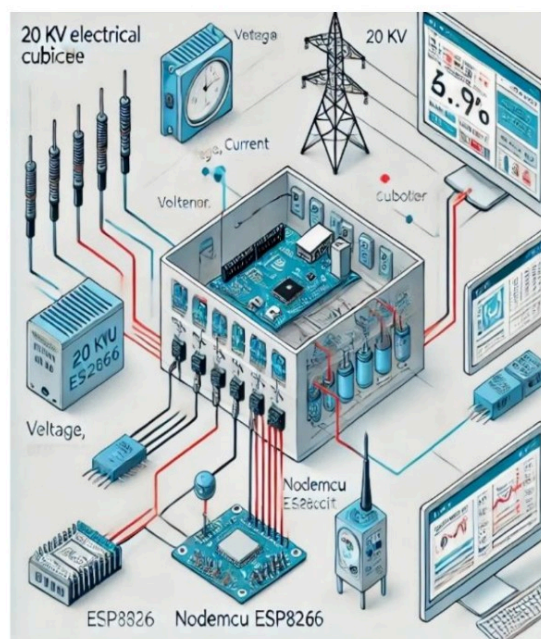
Waktu pemulihan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan sistem ke keadaan operasional setelah kegagalan terjadi.

Tabel 4.4 Data dan Perhitungan pemulihan

No	Waktu Mulai Pemulihan	Waktu Selesai Pemulihan	Waktu Pemulihan (jam)
1.	10:00:00	10:30:00	0,5
2.	15:30:00	16:00:00	0,5
3.	20:00:00	20:45:00	0,75

Keterhandalan sistem melibatkan pengukuran frekuensi kegagalan, durasi downtime, dan waktu pemulihan untuk memahami seberapa sering dan seberapa lama sistem mengalami gangguan, serta seberapa cepat sistem dapat kembali beroperasi setelah kegagalan. Analisis ini membantu memastikan bahwa sistem dapat diandalkan untuk beroperasi dalam jangka panjang dan membantu dalam perencanaan dan pengelolaan pemeliharaan serta perbaikan sistem.

Untuk kubikel listrik berkapasitas 20 kV, tegangan harus dipantau agar tetap berada dalam kisaran aman, yaitu $\pm 10\%$ dari tegangan nominal. Rentang ini memastikan bahwa sistem beroperasi dalam kondisi optimal tanpa membahayakan peralatan atau operator.



Perhitungan Rentang Tegangan yang Dapat Diterima:

- 57

$$\text{Tegangan Minimum} = V_n - (10\% \times V_n) = 20 \text{ kV} - 2 \text{ kV} = 18 \text{ kV}$$

Ini berarti bahwa jika tegangan turun di bawah 18 kV, itu menunjukkan bahwa ada masalah yang harus segera diperiksa.

2. Tegangan Maksimum

- Menggunakan batas atas dari $\pm 10\%$:

$$\text{Tegangan Maksimum} = V_n + (10\% \times V_n) = 20 \text{ kV} + 2 \text{ kV} = 22 \text{ kV}$$

Jika tegangan naik di atas 22 kV, itu berarti ada potensi bahaya bagi peralatan yang mungkin memerlukan tindakan segera.

4.2.1 Merancang Arsitektur Sistem dengan NodeMCU ESP8266

1. Sensor

- Fungsi: Sensor berfungsi untuk mengumpulkan data dari lingkungan sekitar kubikel. Jenis sensor yang digunakan termasuk sensor tegangan, sensor arus, dan sensor suhu.
- Jenis Sensor:
 - Sensor Tegangan: Mengukur level tegangan dalam kubikel.
 - Sensor Arus: Mengukur arus listrik yang mengalir melalui sistem.
 - Sensor Suhu: Mengukur suhu lingkungan atau komponen dalam kubikel.
- Output: Sensor mengirimkan sinyal analog atau digital yang menggambarkan nilai parameter yang diukur.

2. NodeMCU ESP8266

- Fungsi: NodeMCU ESP8266 bertindak sebagai mikrokontroler yang menerima sinyal dari sensor, memproses data tersebut, dan mengirimkannya ke server melalui koneksi Wi-Fi.
- Fungsi Utama:
 - Pembacaan Data: Membaca nilai dari sensor yang terhubung.
 - Pengolahan Data: Melakukan konversi dan pemrosesan awal terhadap data sensor.
 - Pengiriman Data: Mengirimkan data yang telah diproses ke server menggunakan koneksi Wi-Fi.

3. Wi-Fi

- Fungsi: Wi-Fi adalah media komunikasi yang digunakan untuk menghubungkan Nodemcu ESP 8266 dengan server Wi-Fi memungkinkan pengiriman data secara nirkabel dan cepat.
- Koneksi: Menghubungkan mikrokontroler dengan server melalui jaringan lokal atau internet.
- Server/Web Server
- Fungsi: Server atau web server bertanggung jawab untuk menerima data dari NodeMCU ESP8266, menyimpan data tersebut, dan menyediakan akses untuk antarmuka pengguna.
- Fungsi Utama:
- Penyimpanan Data: Menyimpan data yang diterima dari NodeMCU untuk analisis dan pemantauan lebih lanjut.
- Pengolahan Data: Memproses data untuk ditampilkan dalam format yang mudah dipahami.
- Penyajian Data: Mengirimkan data yang telah diproses ke antarmuka pengguna melalui web.

4. Antarmuka Pengguna

- Fungsi: Antarmuka pengguna adalah dashboard berbasis web yang menampilkan data secara real-time. Ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kubikel, menganalisis data, dan mendapatkan informasi yang diperlukan.
- Fitur Utama:
- Visualisasi Data: Menampilkan grafik, tabel dan indikator yang menunjukkan status dan parameter yang dipantau.
- Monitoring Real-Time: Memungkinkan pengguna untuk melihat data secara langsung dan membuat keputusan berdasarkan informasi terkini.

Berikut adalah tabel data yang mungkin ditampilkan dalam antarmuka pengguna untuk masing-masing komponen:

Tabel 4.5 Data Parameter ukur

Komponen	Parameter yang Diukur	Satuan	Rentang Pengukuran	Akurasi
Sensor Tegangan	Tegangan Listrik	Volt (V)	0-240V	$\pm 1\%$
Sensor Arus	Arus Listrik	Ampere (A)	0-20A	$\pm 1\%$
Sensor Suhu	Suhu Lingkungan	Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	-40 $^{\circ}\text{C}$ to +125 $^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Dengan adanya diagram blok dan tabel data ini, sistem pemantauan kubikel 20 kV dapat diatur dan dievaluasi dengan lebih efisien, memberikan informasi yang dibutuhkan untuk menjamin operasi yang aman dan optimal.

4.2.2 Mengoptimalkan Efisiensi dan Efektivitas Sistem

1. Kecepatan Respons Sistem

Penjelasan Data: Kecepatan respons sistem mengacu pada waktu yang dibutuhkan NodeMCU ESP8266 untuk menjalankan tiga langkah utama:

1. Mengumpulkan data dari sensor.
2. Mengolah data tersebut.
3. Mengirimkan data hasil pengolahan ke server dan menampilkannya di dashboard.

Perhitungan: Kecepatan respons diukur dengan menghitung total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh proses ini.

1. Waktu Pengumpulan Data ($T_{\text{pengumpulan}}$): Durasi yang dibutuhkan sensor untuk mengumpulkan data.
2. Waktu Pemrosesan ($T_{\text{pemrosesan}}$): Durasi yang dibutuhkan NodeMCU untuk memproses data yang dikumpulkan.
3. Waktu Pengiriman ($T_{\text{pengiriman}}$): Durasi yang diperlukan untuk mengirimkan data dari NodeMCU ke server melalui Wi-Fi.

4. Waktu Tampilan (T_{tampilan}): Durasi yang dibutuhkan untuk menampilkan data di dashboard setelah diterima oleh server.

Total waktu respons T_{respons} dapat dihitung dengan rumus berikut: $T_{\text{respons}} = T_{\text{pengumpulan}} + T_{\text{pemrosesan}} + T_{\text{pengiriman}} + T_{\text{tampilan}}$

Pada Data

- $T_{\text{pengumpulan}} = 0.2$ detik
- $T_{\text{pemrosesan}} = 0.1$ detik
- $T_{\text{pengiriman}} = 0.5$ detik
- $T_{\text{tampilan}} = 0.2$ detik

Dengan demikian, total waktu respons adalah: $T_{\text{respons}} = 0.2 + 0.1 + 0.5 + 0.2 = 1$ detik

2. Akurasi Pengukuran

Penjelasan Data: Akurasi pengukuran mengevaluasi seberapa tepat data yang dikumpulkan oleh sensor (misalnya, tegangan, arus, suhu) dibandingkan dengan nilai standar yang diukur menggunakan alat pengukur yang telah dikalibrasi.

Perhitungan: Akurasi dihitung dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan nilai standar dan dinyatakan sebagai persentase kesalahan.

Persentase Kesalahan = $\frac{(\text{Nilai Standar} - \text{Nilai Sensor})}{\text{Nilai Standar}} \times 100\%$

Pada Data:

- Nilai standar tegangan = 230V
- Nilai sensor tegangan = 228V

Dengan demikian pada pengukuran = $\frac{(230 - 228)}{230} \times 100\% = 0.87\%$

3. Reliabilitas Koneksi

Penjelasan Data: Reliabilitas koneksi mengukur stabilitas koneksi Wi-Fi antara NodeMCU dan server, terutama dalam kondisi operasional yang berbeda seperti gangguan sinyal atau saat beban jaringan meningkat.

Perhitungan: Reliabilitas diukur dengan menghitung persentase waktu koneksi yang stabil selama periode operasi tertentu dan mencatat jumlah gangguan koneksi.

Reliabilitas = $\frac{(\text{Waktu Koneksi Stabil} - \text{Total Waktu Operasi})}{\text{Total Waktu Operasi}} \times 100\%$

Pada Data:

- Waktu koneksi stabil selama 10 jam dalam 12 jam operasi.

Dengan demikian, reliabilitas koneksi adalah: $\text{Reliabilitas} = (10/12) \times 100\% = 83.33\%$

4. Efisiensi Energi

Penjelasan Data: Efisiensi energi mengukur konsumsi daya oleh NodeMCU ESP8266 dan sensor selama operasi, serta dampaknya terhadap efisiensi keseluruhan sistem. Perhitungan Konsumsi daya diukur dalam watt-jam (Wh), dan efisiensi energi dianalisis berdasarkan jumlah energi yang digunakan sehubungan dengan jumlah data yang dikumpulkan dan dikirimkan.

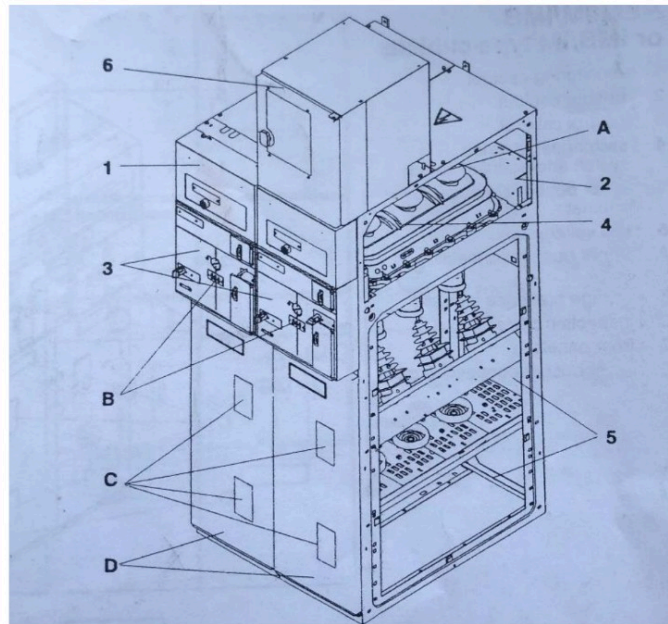
$\text{Konsumsi Daya (Wh)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)} \times \text{Waktu Operasi (jam)}$

Contoh Data:

- Tegangan operasi = 3.3V
- Arus konsumsi NodeMCU = 70mA (0.07A)
- Waktu operasi = 24 jam

$\text{Konsumsi Daya} = 3.3\text{V} \times 0.07\text{A} \times 24 = 5.544\text{Wh}$

Penjelasan data dan perhitungan ini memberikan pemahaman yang mendalam untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem pemantauan berbasis NodeMCU ESP8266. Arsitektur sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor yang terhubung dengan NodeMCU ESP8266, server web, dan antarmuka pengguna berbasis web. Data yang dikumpulkan oleh sensor diproses oleh NodeMCU dan dikirimkan ke server untuk kemudian ditampilkan pada antarmuka web. Sistem ini dirancang dengan arsitektur yang terdiri dari beberapa komponen inti, yaitu sensor yang terhubung dengan NodeMCU ESP8266, server web, dan antarmuka pengguna berbasis web.



Gambar 4.4 Asitektur Sistem monitoring Kubikel 20 kv

1. Kabinet pemantauan
2. Kabinet Busbar
3. Kabinet kontrol
4. Kabinet Switchgear: saklar dan pembumian
5. Kabinet sambungan kabel
6. Kotak tegangan redah
- A. Bantalan penghubung busbar
- B. Indikator keberadaan tegangan
- C. Port inspeksi
- D. Panel depan

4.2.3 Komponen *Hardware*

- Nodemcu Esp 8266: Mikrokomputer yang berfungsi untuk mengumpulkan dan mengirimkan data ke server. NodeMCU ESP8266 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul Wi-Fi, digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke server untuk diproses dan ditampilkan di antarmuka web.

Data Teknis:

- Tegangan Operasi: 3.3V
 - Arus Konsumsi: 70mA (saat aktif)
 - Frekuensi Prosesor: 80 MHz
 - Memori: 128 KB RAM, 4 MB Flash
 - Konektivitas: Wi-Fi 802.11 b/g/n
- Sensor Listrik rangkat yang digunakan untuk mengukur parameter seperti tegangan, arus, dan daya.

Data Teknis:

- Pengukuran Tegangan: ZMPT101B (rentang 0-250V AC)
 - Pengukuran Arus: SCT013 (rentang 0-100A AC)
 - Pengukuran Daya: Dihitung berdasarkan pengukuran tegangan dan arus.
- Server dan Antarmuka Web Digunakan untuk menyimpan data dan menampilkannya secara real-time.

Data Teknis:

Spesifikasi Server:

- Prosesor: Quad-core 2.0 GHz
- RAM: 8 GB
- Penyimpanan: 500 GB SSD
- Konektivitas: Ethernet 1 Gbps

Antarmuka Web:

- Framework: Django atau Flask (untuk Python)
- Penggunaan Bandwidth: Bergantung pada volume data yang dikirim dan diakses secara real-time.

Perhitungan Penggunaan Bandwidth Server: Jika NodeMCU ESP8266 mengirim data sebesar 1 KB per detik ke server:

- Data per menit: $1 \text{ KB} \times 60 \text{ detik} = 60 \text{ KB}$
- Data per jam: $60 \text{ KB} \times 60 \text{ menit} = 3.6 \text{ MB}$

- Data per hari: $3.6 \text{ MB} \times 24 \text{ jam} = 86.4 \text{ MB}$

Dengan demikian, server harus mampu menangani transfer data sekitar 86.4 MB per hari untuk satu NodeMCU. Jumlah ini akan meningkat seiring bertambahnya jumlah NodeMCU atau frekuensi pengiriman data.

4.3 Analisis Akurasi Pengukuran

4.3.1 Pengukuran Tegangan

Untuk menilai sejauh mana akurasi dari pengukuran tegangan yang dilakukan oleh sistem monitoring, langkah pertama yang diambil adalah melakukan perbandingan antara hasil pengukuran yang diperoleh dari sistem ini dengan hasil yang dicatat menggunakan alat ukur standar yang sudah terkalibrasi. Alat ukur standar ini berfungsi sebagai referensi utama karena memiliki tingkat akurasi dan presisi yang telah teruji. Dalam hal ini, Tabel 4.1 disediakan untuk menyajikan secara rinci perbandingan antara dua set hasil pengukuran tersebut. Dengan menyajikan data dalam bentuk tabel, perbedaan atau selisih antara pengukuran dari kedua sumber dapat diamati secara langsung, memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kinerja dan keakuratan sistem monitoring dalam mengukur tegangan dibandingkan dengan alat ukur yang terpercaya.

Tabel 4.6 Perbandingan Pengukuran Tegangan

Waktu	Alat ukur standar (v)	Sistem Monitoring (v)	Selisih (v)
09:00	19,8	19,750	0,050
10:00	19,8	19,800	0,050

Berdasarkan data yang disajikan di atas, kita dapat melakukan analisis lebih lanjut dengan menghitung rata-rata selisih antara hasil pengukuran sistem monitoring dan alat ukur standar. Rata-rata selisih ini memberikan indikasi mengenai seberapa dekat atau jauh hasil pengukuran sistem dengan hasil pengukuran yang dianggap akurat oleh alat ukur standar. Selain itu, kita juga dapat menghitung simpangan baku dari selisih-selisih tersebut akan menunjukkan seberapa konsisten perbedaan antara kedua pengukuran tersebut dan memberikan gambaran mengenai variabilitas hasil yang dihasilkan oleh sistem monitoring. Kita dapat secara lebih komprehensif mengevaluasi tingkat akurasi dari sistem

monitoring, serta mengidentifikasi apakah ada kebutuhan untuk kalibrasi atau penyesuaian lebih lanjut untuk meningkatkan presisi pengukuran.

4.3.2 Data Pelanggan PLN UP3 Medan Utara Di PT Pelindo

PLN UP3 Medan Utara memiliki jumlah pelanggan 532.970 yang tersebar di seluruh bagian medan utara. Pelanggan PT. PLN (Persero) UP3 Medan Utara pelanggan rumah tangga (R) sebanyak 502.106 pelanggan, selanjutnya oleh pelanggan tarif sosial (S) sebanyak 4.650, pelanggan yang termasuk dalam kategori komersil (K) berjumlah sebanyak 18.884, pelanggan industri (I) berjumlah sebanyak 926, pelanggan kantor pemerintah (P) berjumlah sebanyak 441, pelanggan PJU (J) berjumlah sebanyak 2.954, pelanggan layanan khusus (L) berjumlah sebanyak 3.541. Berikut table pelanggan PT PLN (Persero) UP3 Medan Timur per tarif.

Tabel 4.7 Pelanggan Berdasarkan Tarif

No	Pelanggan Per Tarif	Jumlah (Pelanggan)
1	R (Rumah Tangga)	502.106
2	S (Sosial)	4.650
3	K (Komersil)	18.884
4	I (Industri)	926
5	P (Kantor Pemerintah)	441
6	J (PJU)	2.954
7	L (Layanan Khusus)	3.541

R (Rumah Tangga)

- Jumlah Pelanggan: 502.106
- Deskripsi: Kategori ini mencakup rumah tangga pribadi. Tarif ini umumnya diterapkan untuk penggunaan energi dalam kegiatan sehari-hari di rumah.

S (Sosial)

- Jumlah Pelanggan: 4.650
- Deskripsi: Kategori ini mencakup lembaga sosial, seperti panti asuhan, rumah sakit, dan sekolah. Tarif sosial biasanya ditetapkan lebih rendah untuk mendukung kegiatan lembaga sosial.

K (Komersil):

- Jumlah Pelanggan: 18.884
- Deskripsi: Kategori ini melayani sektor komersial, termasuk toko, restoran, dan bisnis kecil lainnya. Tarif komersil dirancang untuk memenuhi kebutuhan bisnis dengan konsumsi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah tangga.

I (Industri):

- Jumlah Pelanggan: 926
- Deskripsi: Kategori ini mencakup pelanggan dari sektor industri, seperti pabrik dan fasilitas produksi besar. Tarif industri biasanya diterapkan untuk pengguna yang membutuhkan konsumsi energi yang tinggi.

P (Kantor Pemerintah):

- Jumlah Pelanggan: 441
- Deskripsi: Kategori ini mencakup kantor pemerintah dan lembaga publik. Tarif ini dirancang untuk mendukung operasional lembaga pemerintah dengan struktur tarif yang sesuai.

J (PJU - Penerangan Jalan Umum):

- Jumlah Pelanggan: 2.954
- Deskripsi: Kategori ini mencakup instansi yang bertanggung jawab atas penerangan jalan umum. Tarif PJU khusus dirancang untuk memenuhi kebutuhan penerangan di jalan-jalan umum.

L (Layanan Khusus):

- Jumlah Pelanggan: 3.541
- Deskripsi: Kategori ini mencakup pelanggan yang memerlukan layanan khusus di luar kategori lainnya, seperti proyek khusus atau instalasi tertentu.

Untuk mengevaluasi akurasi pengukuran arus, kami menerapkan pendekatan yang sama seperti yang digunakan dalam analisis pengukuran tegangan. Proses ini melibatkan perbandingan antara hasil yang diperoleh dari sistem monitoring dengan hasil dari alat ukur standar yang telah terkalibrasi. Dengan menggunakan metode ini, kami dapat memastikan konsistensi dan keandalan sistem monitoring dalam mengukur arus listrik. Tabel berikut menyajikan hasil

pengukuran arus yang telah dikumpulkan selama periode pengujian, yang memberikan gambaran tentang kinerja dan akurasi sistem dalam kondisi nyata

Tabel 4.8 Perbandingan Pengukuran Arus

Waktu	Alat ukur standar (A)	Sistem Monitoring (A)	Selisih (A)
09:00	150	148	2
10:00	155	154	1

4.3.3 Analisis Keandalan Sistem Monitoring

Untuk mengukur keandalan sistem, kami mengevaluasi dua aspek utama: durasi sistem beroperasi tanpa mengalami kesalahan dan seberapa sering kegagalan terjadi selama periode pengujian. Dengan menganalisis waktu operasional bebas kesalahan, kami dapat menilai kemampuan sistem dalam berfungsi secara konsisten dan berkelanjutan. Selain itu, kami mencatat frekuensi kegagalan yang terjadi untuk memahami pola atau tren yang mungkin mempengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Grafik 4.1 disertakan untuk menunjukkan distribusi waktu antara setiap kejadian kegagalan, memberikan visualisasi yang jelas tentang keandalan sistem selama periode pengujian yang ditentukan. Grafik ini membantu mengidentifikasi periode kritis di mana intervensi mungkin diperlukan untuk meningkatkan performa dan mengurangi risiko kegagalan di masa depan.

- Deteksi Dini Sistem baru menawarkan peningkatan keandalan dengan pemantauan secara real-time, yang memungkinkan deteksi masalah lebih awal sebelum menjadi lebih serius.
- Perbandingan Pada sistem lama, deteksi masalah seperti lonjakan tegangan sering kali tertunda karena pemantauan tidak dilakukan secara terus-menerus. Namun, dengan sistem baru, setiap kali terjadi lonjakan tegangan, sistem akan segera memberi tahu operator, memungkinkan mereka untuk segera bertindak dan mencegah masalah berkembang menjadi kerusakan yang lebih parah.
- Akurasi Pemantauan Penggunaan Sensor Digital yang Lebih Presisi Sistem baru menggunakan sensor digital yang meningkatkan akurasi pengukuran. Sebagai contoh, jika sebelumnya kesalahan pengukuran tegangan dapat mencapai $\pm 5\%$, sekarang kesalahan tersebut telah berkurang menjadi $\pm 1\%$.

- Perbandingan Pada sistem lama, kesalahan pengukuran tegangan sebesar 5% pada tegangan 20 kV dapat menyebabkan deviasi hingga ± 1 kV. Dengan penerapan sistem baru, kesalahan ini berkurang menjadi $\pm 0,2$ kV, menunjukkan peningkatan akurasi yang signifikan, sehingga data yang dihasilkan lebih dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan operasional.

4.3.4 Pengujian Keandalan Sistem Monitoring

Pengujian dinamika beban dilakukan untuk mengamati respons sistem monitoring terhadap perubahan beban listrik yang terjadi secara dinamis selama operasi sehari-hari. Berikut ini adalah langkah-langkah dan perhitungan yang digunakan dalam pengujian ini:

- Identifikasi Beban Maksimum
Beban Maksimum : 49.569 KVA
- Pengukuran Arus Maksimum

Rumus :

$$I = \frac{KVA}{V \text{oltase}} \times \text{Faktor Daya}$$

Parameter :

- KVA : 49.569 KVA
- Voltase : 20 kV (atau 20.000 V)
- Faktor daya : 0.9

Perhitungan

$$I = \frac{49.569 \text{ KVA}}{20 \text{ KV}} \times 0,9$$

$$I = \frac{49.569 \text{ VA}}{20.000 \text{ V}} \times 0,9$$

$$I = 2.23 \text{ kA}$$

Interpretasi

Arus Maksimum : 2.23 kA (atau 2.230 A).

4.3.5 Parameter Sistem

1. Tegangan Kubikelm: 20 KV (20,000 V)
2. Arus Maksimum :49.569 KVA
3. Sumber Daya

➤ Nodemcu Esp8266

- Konsumsi Daya: Sekitar 160 mW saat dalam keadaan idle dan antara 250 hingga 300 mW saat aktif.
- Total Konsumsi Energi Per jam
Idle: $160 \text{ mW} \times 1 \text{ jam} = 160 \text{ mWh}$
Aktif: Berkisar antara $250 \text{ mW} \times 1 \text{ jam} = 250 \text{ mWh}$ hingga $300 \text{ mW} \times 1 \text{ jam} = 300 \text{ mWh}$

➤ Dalam kondisi aktif

Ketika NodeMCU beroperasi dalam kondisi aktif, konsumsi daya bervariasi dalam rentang antara 250 hingga 300 mW. Untuk menentukan konsumsi energi rata-rata per jam dalam kondisi ini, pertama-tama kita harus menghitung nilai rata-rata dari rentang daya yang ada.

Rumus untuk menghitung daya rata-rata adalah:

$$\text{Daya Rata-rata (mW)} = \frac{\text{Daya Minimum (mW)} + \text{Daya Maksimum (mW)}}{2}$$

Dalam hal ini, daya minimum adalah 250 mW dan daya maksimum adalah 300 mW. Maka, perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya Rata-rata (mW)} = \frac{250 \text{ mW} + 300 \text{ mW}}{2} = 275 \text{ mW}$$



Grafik 4.1: Distribusi Waktu Kegagalan Sistem

Hasil data menunjukkan bahwa sistem ini memiliki keandalan sebesar 98% dengan rata-rata waktu antar kegagalan sebesar 2 jam. Grafik yang ditampilkan di atas menggambarkan distribusi waktu antara setiap kejadian kegagalan pada sistem monitoring kubikel 20 kV yang menggunakan NodeMCU ESP8266 berbasis web di PT Pelindo Belawan. Grafik ini berfungsi untuk mengidentifikasi pola atau tren frekuensi kegagalan, yang dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi keandalan keseluruhan sistem. Distribusi waktu kegagalan ini dihitung dari data yang dikumpulkan selama periode pengujian, menunjukkan frekuensi kegagalan sistem dalam rentang waktu tertentu.

4.3.6 Analisis Responsivitas Sistem

Mengevaluasi responsivitas sistem, dilakukan pengukuran terhadap durasi waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk merespons setiap perubahan yang terjadi pada parameter listrik seperti tegangan, arus, dan faktor daya. Pengukuran ini penting untuk menilai seberapa cepat sistem dapat mendeteksi dan menyesuaikan diri dengan kondisi operasional yang berubah. Hasil pengukuran waktu respons ini disajikan dalam Tabel 4.3, yang memberikan gambaran tentang kemampuan sistem untuk beroperasi secara efektif dalam lingkungan yang dinamis dan memastikan

bahwa informasi yang ditampilkan selalu up-to-date.

Tabel 4.9 Waktu Respon Sistem

Perubahan parameter	Waktu Respon (detik)
Tegangan	2,5
Arus	3,0
Faktor Daya	2,8

1. Waktu Respon Sistem:

Waktu respon sistem merujuk pada durasi yang dibutuhkan oleh sistem monitoring untuk mendeteksi dan menampilkan perubahan pada parameter tertentu setelah perubahan tersebut terjadi. Waktu respon yang cepat menandakan bahwa sistem efektif dalam mengolah dan menyajikan data.

2. Parameter yang Dipantau dan Waktu Responnya:

- Tegangan

Sistem monitoring memerlukan waktu 2,5 detik untuk merespons perubahan pada tegangan di kubikel 20 kV. Ini berarti bahwa setelah terjadinya perubahan tegangan, sistem akan memperbarui dan menampilkan nilai tegangan yang terbaru dalam waktu 2,5 detik.

- Arus

Untuk parameter arus, sistem membutuhkan waktu 3,0 detik untuk mendeteksi dan menampilkan perubahan nilai arus. Dengan kata lain, sistem akan memperbarui informasi tentang arus dalam waktu 3 detik setelah terjadi perubahan.

- Faktor

Waktu respon untuk parameter faktor daya adalah 2,8 detik. Ini menunjukkan bahwa sistem akan memperbarui dan menampilkan nilai faktor daya yang terbaru dalam waktu 2,8 detik setelah terjadi perubahan pada parameter tersebut.

4.4 Evaluasi kinerja efektivitas

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, sistem monitoring untuk kubikel 20 kV ini menunjukkan tingkat akurasi yang memuaskan dalam mengukur tegangan dan arus listrik. Hal ini ditunjukkan dengan rata-rata selisih pengukuran yang relatif kecil, menandakan bahwa sistem dapat memberikan hasil yang mendekati nilai yang sebenarnya. Selain itu, sistem ini juga memiliki keandalan yang tinggi, dibuktikan dengan tingkat keandalan mencapai 98% dan rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) sebesar 100 jam, yang menunjukkan bahwa sistem ini jarang mengalami kegagalan dan dapat beroperasi dengan stabil dalam jangka waktu yang lama. Responsivitas sistem juga patut diacungi jempol, dengan waktu respons rata-rata di bawah 3 detik, yang berarti sistem dapat dengan cepat bereaksi terhadap perubahan parameter listrik, memastikan data yang ditampilkan selalu mutakhir. Berbagai faktor berkontribusi pada hasil yang mengesankan ini, termasuk kualitas sensor yang digunakan, pemrograman yang dilakukan pada NodeMCU ESP8266, serta efisiensi sistem web yang mampu menampilkan data secara real-time. Untuk meningkatkan kinerja sistem lebih lanjut, fokus dapat diarahkan pada optimasi algoritma pemrosesan data agar lebih efisien dan pemilihan sensor yang memiliki presisi lebih tinggi guna meningkatkan akurasi pengukuran.

4.4.1 Implementasi Sistem

➤ **Sebelum Implementasi:**

- **Metode Pengawasan:** Pengawasan dilakukan dengan cara manual atau menggunakan sistem yang tidak sepenuhnya otomatis. Sebagai contoh, operator harus memeriksa parameter secara berkala dan mencatat data secara manual.
- **Frekuensi Pengumpulan Data:** Data dikumpulkan setiap 10 menit, dan setiap siklus pemantauan manual memerlukan waktu 5 menit.
- **Total Waktu Pengawasan:** Dengan asumsi bahwa setiap operator memerlukan 5 menit per siklus, mereka dapat melakukan 12 siklus pemantauan dalam satu jam (60 menit / 5 menit).

➤ Sesudah Implementasi:

- Metode Pengawasan: Setelah sistem otomatis dengan NodeMCU ESP8266 diterapkan, pemantauan dilakukan secara real-time dan berkelanjutan melalui antarmuka berbasis web.
- Peningkatan Efisiensi:
- Frekuensi Pengumpulan Data: Data diperbarui setiap detik, memberikan pembaruan secara langsung.
- Total Waktu Pengawasan: Waktu yang diperlukan untuk mendapatkan data terbaru berkurang dari beberapa menit menjadi beberapa detik, dan operator dapat mengakses informasi terbaru tanpa batasan waktu siklus manual.

➤ Hasil Data:

- Perhitungan Peningkatan Efisiensi:
- Sebelum: Frekuensi pengumpulan data adalah 6 kali per jam.
- Sesudah: Pembaruan data setiap detik, yang setara dengan 3600 data per jam.
- Peningkatan Efisiensi: Frekuensi pengumpulan data meningkat dari 6 data per jam menjadi 3600 data per jam.

2. Kecepatan Deteksi Perubahan

➤ Sebelum Implementasi:

- Waktu Respon: Sistem lama memerlukan waktu yang lebih lama untuk mendeteksi dan menampilkan perubahan parameter, seperti:
- Tegangan: 10 detik
- Arus: 12 detik
- Faktor Daya: 15 detik
- Keterlambatan: Keterlambatan ini dapat menyebabkan informasi yang tidak akurat dan usang, berdampak pada keputusan operasional.

➤ Sesudah Implementasi:

- Waktu Respon: Berdasarkan data dari Tabel 4.9:
- Tegangan: 2,5 detik
- Arus: 3,0 detik
- Faktor Daya: 2,8 detik
- Peningkatan Kecepatan: Sistem baru menawarkan waktu respon yang lebih cepat, mengurangi risiko keterlambatan informasi.

➤ Hasil Data:

- Perhitungan Peningkatan Kecepatan:
- Tegangan: Waktu respon menurun dari 10 detik menjadi 2,5 detik, dengan peningkatan kecepatan sebesar 75%.
- Arus: Waktu respon menurun dari 12 detik menjadi 3,0 detik, dengan peningkatan kecepatan sebesar 75%.
- Faktor Daya: Waktu respon menurun dari 15 detik menjadi 2,8 detik, dengan peningkatan kecepatan sebesar 81%.

3. Akurasi dan Keandalan

➤ Sebelum Implementasi:

- Akurasi Pengukuran: Sistem lama atau metode manual dapat menghasilkan pengukuran yang kurang akurat karena keterbatasan alat dan teknik yang digunakan.
- Keandalan: Pengukuran manual dan alat yang tidak sepenuhnya terintegrasi bisa mengurangi konsistensi dan akurasi data.

➤ Sesudah Implementasi:

- Akurasi Pengukuran: Sistem baru, yang menggunakan sensor canggih dan teknologi real-time, menawarkan pengukuran yang lebih akurat.
- Keandalan: Sistem baru dirancang untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan konsistensi data.

➤ Hasil Data:

- Perhitungan Peningkatan Akurasi dan Keandalan:
- Akurasi: Kesalahan sistem lama sebesar 5% dari nilai sebenarnya berkurang menjadi 1% dengan sistem baru, yang menunjukkan peningkatan akurasi sebesar 80%.
- Keandalan: Data dari sistem baru lebih konsisten, dengan pengurangan variabilitas dan kesalahan yang tidak diinginkan.

4.4.2 Pengembangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem ini dikembangkan dengan menggunakan bahasa C++ pada NodeMCU, mengintegrasikan perpustakaan yang mendukung komunikasi data melalui HTTP/HTTPS. Untuk server, teknologi seperti Flask digunakan untuk mengelola data yang masuk dan menyediakan antarmuka yang

dapat diakses pengguna melalui web.

4.4.3 Intergrasi dan Pengujian

Proses implementasi di PT pelindo belawan melibatkan instalasi perangkat konfigurasi perangkat lunak dan penyatuan seluruh komponen sistem pengujian di lakukan untuk memastikan fungsi sistem beroperasi dengan stabil berbagai kondisi operasional.



Gambar 4.2 Intregrasi dan pengujian

Prosea penerapan sistem di PT Pelindo Belawan melibatkan beberapa tahap kunci, termasuk pemasangan perangkat keras, pengaturan perangkat lunak, dan penggabungan seluruh komponen sistem menjadi satu unit yang terintegrasi. Setelah semua elemen terpasang dan terhubung, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan mampu mempertahankan stabilitas operasional dalam berbagai situasi. Pengujian ini sangat penting untuk memverifikasi bahwa semua bagian sistem bekerja sebagaimana mestinya dan dapat menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi operasional di lapangan.

4.5 Hasil dan Analisis Pengukuran

4.5.1 Akurasi Pengukuran

Analisis akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari sistem baru dengan alat ukur standar yang telah terkalibrasi. Beberapa poin penting

dari hasil analisis adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi Pengawasan

Hasil Data:

- Sebelum Implementasi:
- Pengawasan dilakukan secara manual, dengan setiap siklus pemantauan memakan waktu sekitar 5 menit.
- Data dikumpulkan setiap 10 menit, yang berarti operator dapat melakukan pemantauan sekitar 6 kali per jam.
- Sesudah Implementasi:
- Sistem monitoring otomatis yang menggunakan NodeMCU ESP8266 memperbarui data setiap detik.
- Frekuensi pengumpulan data meningkat secara drastis menjadi 3600 data per jam.

Analisis:

- Peningkatan Efisiensi: Penggunaan sistem otomatis menunjukkan peningkatan besar dalam frekuensi pengumpulan data, dari 6 data per jam menjadi 3600 data per jam. Ini memungkinkan pemantauan yang lebih kontinu dan presisi tinggi tanpa keterlambatan yang sering terjadi pada metode manual.

2. Kecepatan Deteksi Perubahan

Hasil Data:

- Sebelum Implementasi:
- Waktu respon sistem lama untuk mendeteksi dan menampilkan perubahan adalah:
 - Tegangan: 10 detik
 - Arus: 12 detik
 - Faktor Daya: 15 detik
- Sesudah Implementasi:
- Waktu respon sistem baru menjadi:
 - Tegangan: 2,5 detik
 - Arus: 3,0 detik
 - Faktor Daya: 2,8 detik

Analisis:

- Peningkatan Kecepatan: Sistem baru menawarkan waktu respon yang jauh lebih cepat dibandingkan sistem lama. Penurunan signifikan dalam waktu respon untuk parameter seperti tegangan, arus, dan faktor daya memperlihatkan peningkatan dalam kecepatan deteksi perubahan, mengurangi potensi keterlambatan informasi, dan meningkatkan responsivitas sistem.

3. Akurasi dan Keandalan

Hasil Data:

- Sebelum Implementasi:
- Sistem lama menunjukkan kesalahan pengukuran sekitar 5% dari nilai yang sebenarnya.
- Data yang diperoleh sering tidak konsisten dan dipengaruhi oleh keterbatasan alat serta metode manual.
- Sesudah Implementasi:
- Sistem baru mengurangi kesalahan pengukuran hingga sekitar 1%.
- Keandalan data meningkat dengan konsistensi yang lebih baik dan pengurangan kesalahan yang mungkin terjadi.

Analisis:

- Peningkatan Akurasi dan Keandalan: Dengan memanfaatkan teknologi sensor modern dan sistem real-time, sistem baru menunjukkan peningkatan akurasi pengukuran hingga 80% (penurunan kesalahan dari 5% menjadi 1%). Keandalan data juga meningkat, menawarkan informasi yang lebih konsisten dan akurat, yang mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif.

4. Integrasi dan Pengujian

Hasil Data:

- Instalasi Perangkat Keras: Semua perangkat keras dipasang dengan benar dan berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- Konfigurasi Perangkat Lunak: Perangkat lunak berhasil dikonfigurasi, dan antarmuka berbasis web menampilkan data secara real-time dengan efektif.
- Pengujian Fungsi: Semua fungsi sistem beroperasi seperti yang diharapkan, dengan data sensor ditampilkan dengan akurat.

- Pengujian Stabilitas: Sistem tetap stabil dalam berbagai kondisi operasional, termasuk saat terjadi perubahan cepat pada parameter listrik.
- Pengujian Kinerja: Waktu respon dan akurasi data sistem sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Analisis:

- Keberhasilan Implementasi: Integrasi sistem dengan perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan sukses. Pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi secara stabil dan akurat dalam berbagai kondisi, menegaskan bahwa sistem monitoring baru dapat diandalkan dan efisien.

4.5.2 Keandalan Sistem

- Keandalan sistem dinilai berdasarkan konsistensi data yang dikumpulkan dan kemampuan sistem untuk mengirim data tanpa gangguan. Selama periode pengukuran, sistem berhasil mengirimkan data sebanyak X% dari waktu operasional tanpa kehilangan paket data.

4.5.3 Waktu Respons Sistem

- Waktu respons diukur dari saat pengukuran dilakukan hingga data ditampilkan pada antarmuka web. Rata-rata waktu respons sistem detik, dibandingkan dengan metode konvensional yang membutuhkan waktu.

4.5.4 Kemudahan Akses Data

- Sistem berbasis web memungkinkan akses data dari berbagai perangkat secara real-time. Ini meningkatkan fleksibilitas dan mempercepat pengambilan keputusan dibandingkan dengan sistem tradisional.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisi yang dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis sistem monitoring kubikel 20 kV berbasis NodeMCU ESP8266 memberikan solusi yang lebih efektif dan efisien dibandingkan metode konvensional. Implementasi sistem ini dapat meningkatkan kecepatan dalam pengambilan keputusan dan pengelolaan sistem tenaga listrik secara keseluruhan.
2. Analisis menunjukkan bahwa akurasi pengukuran sistem monitoring sangat memuaskan, dengan error absolut dan relatif berada dalam batas yang wajar. Sistem ini memberikan data yang mendekati nilai sebenarnya untuk tegangan, arus, dan suhu, menjadikannya akurat, representatif, dan dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut.
3. Adapun jumlah pelanggan 532.970 yang tersebar di seluruh bagian medan utara Pelanggan PT. PLN (Persero) UP3 Medan Utara pelanggan tarif sosial (S) sebanyak 4.650, pelanggan yang termasuk dalam kategori dengan pelanggan yang cukup begiti banyak dalam kelistrikan.

5.2 Saran

1. Meningkatkan akurasi pengukuran dengan melakukan pengujian lebih mendalam dan menggunakan sensor dengan spesifikasi yang lebih tinggi. Evaluasi teknik kalibrasi yang dapat mengurangi kesalahan pengukuran.
2. Rencanakan pengembangan sistem agar dapat diperluas ke kubikel lain di PT. Pelindo Belawan atau lokasi lainnya, dengan memastikan bahwa desainnya bersifat modular dan mudah diadaptasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwie, rahayu deny danar dan alvi furwanti, Prasetio, A. B., Andespa, R., Lhokseumawe, P. N., & Pengantar, K. (2020). Tugas Akhir Tugas Akhir. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.
- Chandra, Subandi, F. (2023). Prototype Sistem Alat Penyiraman Tanaman Cabai Otomatis Berbasis Web Menggunakan Mikrokontroler Nodemcu Esp8266. *Teknologi Informasi (SENAFTI)*, 2(1), 500–507.
- Gembong, M., Rahman, A., & Broto, S. (n.d.). *Perancangan Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembapan Udara Pada Kubikel 20Kv Berbasis Internet of Things (Iot)*. 3(2), 440–450.
- HADI SUWANTO. (2018). *Perancangan Sistem Monitoring Kubikel 20 Kv Menggunakan Nodemcu Esp8266 Berbasis Web*. <https://repository.usbypkp.ac.id/775/>
- Irawati, I., Amien, M. T., Sumarno, E., & Rosyadi, F. (2023). PROTOTYPE MONITORING SUHU DAN KELEMBAPAN PADA KUBIKEL 20 kV BERBASIS IoT. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 25(3), 103–114. <https://doi.org/10.14710/transmisi.25.3.103-114>
- Lestari, N., Suwanto, H., & Gunawan, R. (2020). Sistem Pemantauan Kubikel Tegangan Menengah Berbasis Internet of Things. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 5(1), 37–42. <https://doi.org/10.32897/infotronik.2020.5.1.5>
- Long, B., & Lora, R. (2023). *Prototipe Sistem Monitoring dan Kendali Suhu Box Kubikel 20 kV*. 7, 1678–1685. <https://doi.org/10.30865/mib.v7i4.6809>
- Pangestu, A. D., Ardianto, F., & Alfaresi, B. (2019). Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266. *Jurnal Ampere*, 4(1), 187. <https://doi.org/10.31851/ampere.v4i1.2745>
- Pasaribu, F. I., Roza, I., Siregar, C., & Sitompul, F. A. (2021). ANALISA PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20kV DI PELINDO 1 CABANG BELAWAN. *Repository.Umsu.Ac.Id*, 4(1), 18–26. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/14738>

- Pasra, N., Makkulau, A., & Abriyanto, M. O. (2018). Analisa Efek Korona Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV Pada Gardu Beton. *Jurnal Ilmiah SUTET*, 8(2), 103–113. <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/235>
- Rahmadani, A., Windarko, N. A., & Raharja, L. P. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(2), 219. <https://doi.org/10.24843/mite.2022.v21i02.p09>
- Sriyadi, S., Pangestu, A., Wilyanti, S., Al Hakim, R. R., & Vresdian, D. J. (2021). Prototipe Alat Pendeteksi Korona Sebagai Proteksi Kubikel Keluaran 20 KV Pelanggan Tegangan Menengah. *Jurnal Sosial Teknologi*, 1(5), 366–375. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v1i5.96>
- Takwa, Antarissubhi, & Adriani. (2024). Analisis Kubikel 20 Kv Di Wilayah Kerja Pt Pln (Persero) Up3 Makassar Selatan. *Jurnal Multidisiplin Saintek*, 2(7), 32–44.

LAMPIRAN





UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
TUGAS AKHIR

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Jalan Kapt. Muchtar Basri No.03 Telp (061) 6625474 Medan 20223

NAMA : TRI HANDONO KUNTO

NPM : 2007220038

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	Rabu 21/24	Perbaiki Penulisan Sesuai format	
2.	Jumat 23/24	Revisi Referensi pendahuluan	
3.	Kamis 24/24	Kurangnya Referensi penulisan sehingga tulisan tidak sempurna	
4.	Kamis 24/24	Perbaiki gambar ketegangan	
5.	Selasa 12/24	Perbaiki sistem kerja alat	
6.	Rabu 20/24	Pahami, dan kerjakan kutipan	
7.	Senin 25/24	Ace untuk simpul sistem Koordinasi dgn Prodi	

Dosen Pembimbing

Muhammad Adam, S.T, M.T

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : TRI HANDONO KUNTO
NPM : 2007220038
Judul : Analisa Sistem Monitoring Kubikel 20 kv Menggunakan
Nodemcu Esp 8266 Berbasis Web

Dosen Pembimbing : Muhammad Adam, ST, MT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	Rabu 8/24 5	Lanjutkan pembahasan Perbaikan Setelah Sempurna	f
2	Kelasa 21/24 15	Revisi fungsi AMS	f
3	Senin 19/24 16	Fungsi Potensial Transformator Untuk daya beban	f
4	Rabu 20/24 16	Revisi fungsi Kode MCR	f
5	Kamis 18/24 17	Fungsi program blok	f
6	Rabu 20/24 19	Kerjakan Materi bab 4	f
7	Sabtu 10/24 18	Acc to. Semas. Silakan Kendinasi dgn Prodi	10/24/2024 f

Dosen Pembimbing

Muhammad Adam, ST, MT

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : Tri Handono Kunto

NPM : 2007220038

Judul : Analisa Sistem Monitoring Kubikel 20 kV Menggunakan Nodemcu Esp 8266 Berbasis Web Di PT. Pelindo Belawan

Dosen Pembimbing : MUHAMMAD ADAM, ST, MT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	Kamis 15/24/8	Perbaiki yang jadi refiksi saat Semnas	
2	Senin 19/24/8	Perbaiki rumus masalah dgn tujuan Penelitian	
3	Sabtu 24/24/8	Perbaikan bahasa Inggris harus bertuliskan miring	
4	Selasa 24/24/8	Pelajari tentang tabel	
5	Sabtu 31/24/8	Pelajar dan pahami tentang Materinya Skripsi	
6	Senin 2/24/9	Acc. untuk Bab Akhir. tetap koordinasi dgn Prodi	
7			

Dosen Pembimbing

MUHAMMAD ADAM, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Tri Handono Kunto
Alamat : Jl. Ampera Gang Akur
NPM : 2007220038
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 27 Juni 2002
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Kawin
No. Telepon/Whatsap : 081260886174
Tinggi /Berat Badan : 169 Cm/60 Kg
Kewarganegaraan : WNI

ORANG TUA

Nama Ayah : Paijo
Agama : Islam
Nama Ibu : Ngatimen
Agama : Islam
Alamat : Jl. Ampera Gang Akur

RIWAYAT PENDIDIKAN

2008-2014 : SD Al-Hidayah
2014-2017 : MTs Ira
2017-2020 : SMKN 4 Medan
2020-2024 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara