

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Landasan Teori

##### 2.1.1 Gardu Induk

Menurut (M. Ashof Azria Azka & Mustofa Abi Hamid, 2024), Gardu induk merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai tempat transformasi tegangan, pengaturan distribusi daya listrik, serta pengamanan sistem tenaga. Gardu induk berperan dalam penyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju jaringan transmisi dan distribusi sehingga listrik dapat digunakan oleh konsumen dengan tingkat keandalan yang baik.



Gambar 2.1 Gardu Induk  
Sumber: ([www.kompas.com](http://www.kompas.com))

Pada Gambar 2.1 merupakan penampakan Gardu Induk. Di dalam gardu induk terdapat berbagai peralatan utama seperti transformator daya, pemutus tenaga (PMT), sistem proteksi, serta sistem kontrol dan monitoring. Agar peralatan tersebut dapat beroperasi dengan baik, diperlukan sistem pendukung seperti sistem catu daya DC yang digunakan untuk menyuplai peralatan proteksi, kontrol, dan sistem komunikasi. Gardu induk dibagi berdasarkan jenis isolasinya, ada GIS (*Gas Insulated Switchgear*) dan AIS (*Air Insulated Switchgear*).

##### 1. *Gas Insulated Switchgear*

Gas insulated Switchgear merupakan jenis gardu induk tegangan tinggi yang menggunakan gas Sulfur Heksafuorida (SF<sub>6</sub>) bertekanan sebagai isolator. Sehingga memungkinkan komponen listrik (busbar, PMT) ditempatkan dalam selubung logam tertutup. GIS jauh lebih ringkas, hemat tempat, aman dan cocok untuk area perkotaan.

## 2. *Air Insulated Switchgear*

Air Insulated Switchgear merupakan jenis gardu induk konvensional yang menggunakan udara bebas sebagai media isolasinya. Dari segi biaya konstruksi AIS ini lebih rendah daripada GIS, kemudian kemudahan perawatan karena komponennya transparan dan instalasi yang cepat. Hanya saja AIS ini memerlukan lahan yang luas dan ideal untuk area luar kota.

Kedua jenis gardu induk tersebut, yaitu GIS dan AIS masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Perbedaan tersebut umumnya berkaitan dengan kondisi penggunaan, kebutuhan sistem, serta lingkungan tempat gardu induk dipasang. Oleh karena itu, pemilihan antara GIS maupun AIS biasanya disesuaikan dengan kebutuhan dan situasi operasional yang dihadapi.

### 2.1.2 *Sistem Catu Daya 110V*

Menurut (Lonteng, Allo, & Patras, 2022), Sistem catu daya memiliki peran sangat penting dalam kelancaran operasi gardu itu sendiri dalam melayani kebutuhan listrik bagi para konsumen. Salah satu tegangan yang umum digunakan pada gardu induk adalah sistem DC 110V yang dihasilkan dari baterai dan rectifier. Kemudian (Agus Kiswantono, 2023) menyatakan bahwa sistem catu daya 110V merupakan alat bantu utama yang sangat diperlukan sebagai suplai arus searah (Direct Current) yang digunakan untuk peralatan-peralatan kontrol, peralatan proteksi dan peralatan lainnya yang menggunakan sumber arus DC.



Gambar 2.2 Sistem Catu Daya 110V  
Sumber: (blog.kliknclean.com)

Pada Gambar 2.2 menunjukkan Sistem catu daya 110V yang digunakan untuk mensuplai tegangan DC di gardu induk yaitu rectifier dan baterai.

#### 1. *Rectifier*

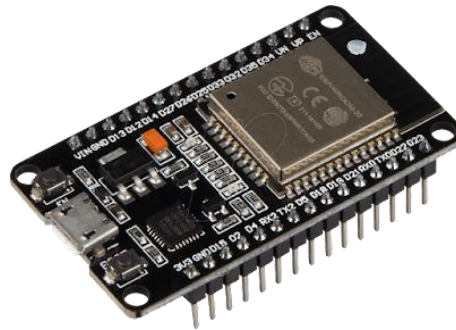
*Rectifier* merupakan perangkat elektronika daya yang berfungsi mengubah listrik AC (220/380V) menjadi tegangan DC stabil 110V. Penggunaan *rectifier* pada gardu induk sangat penting dan krusial, selain untuk menjaga tegangan DC tetap stabil, *rectifier* ini juga terintegrasi dengan bank baterai untuk sistem *backup* sehingga *rectifier* bisa digunakan untuk pengisian daya baterai (*charger*).

#### 2. *Baterai*

Baterai 110V DC adalah sistem sumber daya DC yang krusial untuk perangkat proteksi, kontrol, dan motor penggerak di gardu induk. Sistem ini menggunakan rangkaian seri baterai (tipe VRLA atau Lead-Acid) untuk memastikan keandalan catu daya saat terjadi gangguan, dengan tegangan pengisian aman sekitaran 1,30V sampai 1,45V per sel.

#### 2.1.3 *Mikrokontroler ESP32*

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem embedded dan Internet of Things (IoT). Mikrokontroler ini dikembangkan oleh espressif systems dan memiliki berbagai fitur yang mendukung pengolahan data serta komunikasi nirkabel. Gambar 2.3 merupakan ESP32.



Gambar 2.3 ESP32  
Sumber: <https://ecadio.com/esp32>

ESP32 dilengkapi dengan prosesor dual-core, modul WiFi, serta Bluetooth yang terintegrasi dalam satu chip. Selain itu, ESP32 juga memiliki berbagai pin input dan output yang dapat digunakan untuk membaca data sensor maupun mengendalikan perangkat eksternal. Dengan kemampuan tersebut, ESP32 menjadi salah satu platform yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT. (Wagya, Teknik Elektro, Negeri Jakarta, Siwabessy, & Depok, 2019)

#### 2.1.4 Rangkaian Penurun Tegangan (*Voltage Divider*)

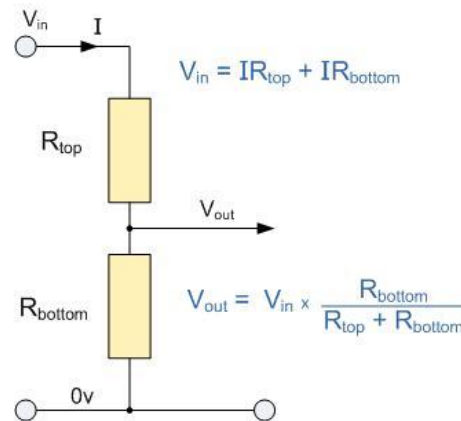
Voltage divider atau rangkaian pembagi tegangan merupakan rangkaian yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari suatu sumber tegangan menjadi tegangan yang lebih kecil. Rangkaian ini biasanya terdiri dari dua buah resistor yang disusun secara seri. Tegangan keluaran diambil pada titik di antara kedua resistor tersebut sehingga nilai tegangan yang dihasilkan merupakan sebagian dari tegangan input. (Sitompul, Hermawan, & Denis, 2020)

Prinsip kerja rangkaian voltage divider didasarkan pada hukum Ohm, dimana tegangan keluaran dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Dimana  $V_{in}$  adalah tegangan masukan,  $V_{out}$  adalah tegangan keluaran, serta  $R_1$

dan R2 adalah nilai resistor yang digunakan pada rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 2.4 Rangkaian Penurun Tegangan

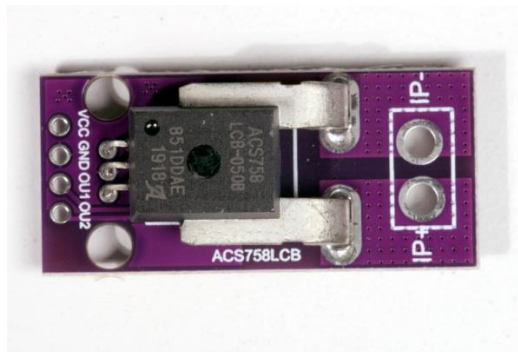
Sumber: <https://electronical-instrument.com/rangkaian-pembagi-tegangan>

Pada penelitian ini, rangkaian voltage divider digunakan untuk menurunkan tegangan sistem DC sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroller ESP32 yang memiliki batas tegangan input maksimal sebesar 3.3V. dengan menggunakan rangkaian ini, tegangan dari sistem DC dapat diukur dengan aman tanpa merusak perangkat mikrokontroler.

#### 2.1.5 Sensor Hall Effect Sensor ACS758

Sensor ACS758 merupakan sensor arus yang bekerja berdasarkan prinsip Hall Effect. Sensor ini digunakan untuk mengukur arus listrik baik arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC) tanpa harus memutus jalur arus yang diukur.

Prinsip kerja sensor Hall Effect adalah dengan mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada suatu konduktor. Medan magnet tersebut kemudian diubah menjadi sinyal tegangan yang sebanding dengan besar arus yang mengalir.

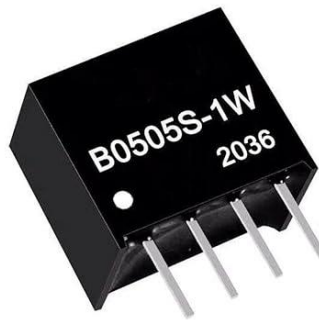


Gambar 2.5 Sensor ACS758

Sumber: <https://elektrologi.iptek.web.id/modul-sensor-arus-ac758/>

Sensor ACS758 memiliki beberapa keunggulan, di antaranya memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, mampu mengukur arus dengan kapasitas besar, serta memiliki isolasi listrik antara rangkaian pengukuran dan rangkaian sensor. Pada penelitian ini, sensor ACS758 digunakan untuk memonitor arus pada sistem DC sehingga kondisi sistem dapat diamati secara lebih lengkap.

#### 2.1.6 B0505S-1WR3 DC-DC Converter



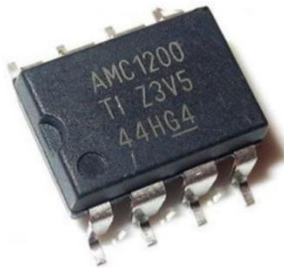
Gambar 2.6 B0505S-1WR3 DC-DC Converter

Sumber: <https://electronicstore.pk/product/b0505s-1w>

B0505S adalah modul DC-DC converter terisolasi dengan input tetap 5V dan output 5V, mampu mengalirkan arus maksimal 200 mA dalam paket SIP 4-pin, di mana modul ini tidak memerlukan komponen eksternal tambahan dan dirancang khusus untuk aplikasi yang membutuhkan output terisolasi dari sistem distribusi daya. Modul

ini menyediakan isolasi elektrik antara rangkaian input dan output untuk memastikan operasi yang aman dan andal, dengan keunggulan berupa efisiensi tinggi, ripple dan noise rendah, serta cocok digunakan pada rangkaian digital, rangkaian analog frekuensi rendah, maupun rangkaian relay dan switching data. Varian B0505S-1WR3 hadir dengan isolasi input-output penuh 1,5 kV DC, efisiensi hingga 85%, dan proteksi short-circuit secara kontinyu, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan isolasi sinyal, penekanan noise, dan perlindungan ground loop pada sistem kontrol industri, sistem embedded, dan instrumentasi dengan rentang temperatur operasi  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $+105^{\circ}\text{C}$

#### 2.1.7 AMC1200



Gambar 2.7 AMC1200 Isolation Amplifier

Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/amc1200-smd-integrated-circuit>

AMC1200 adalah sebuah komponen elektronika berupa penguat sinyal terisolasi (isolation amplifier) yang diproduksi oleh Texas Instruments, yang berfungsi untuk mengukur sinyal tegangan kecil dari rangkaian bertegangan tinggi secara aman tanpa adanya koneksi langsung antara kedua sisi rangkaian tersebut. Isolasi ini dicapai melalui lapisan silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang memisahkan sisi input dan output secara fisik, sehingga tegangan berbahaya dari sisi pengukuran tidak dapat mengalir langsung ke sisi mikrokontroler, dan lapisan ini telah tersertifikasi mampu menahan tegangan hingga 4000 V<sub>PEAK</sub> sesuai standar UL1577 dan VDE V 0884-10.

AMC1200 hanya dapat menerima sinyal input dalam rentang tegangan kecil yaitu  $\pm 250$  mV, sehingga tegangan yang akan diukur harus diturunkan terlebih dahulu menggunakan rangkaian pembagi tegangan sebelum masuk ke AMC1200, kemudian sinyal kecil tersebut akan diperkuat oleh AMC1200 dengan penguatan tetap sebesar 8 kali sehingga menghasilkan output maksimal  $\pm 2,0$  V yang selanjutnya dapat dibaca oleh ADC pada mikrokontroler seperti ESP32. (Syahrin, Anggriawan, & Prasetyono, 2020)

#### 2.1.8 Modul *Step Down* LM2596

Modul *Step Down* LM2596S merupakan rangkaian konverter tegangan DC-DC tipe *buck converter* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan input DC menjadi tegangan output DC yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. Modul ini menggunakan ICLM2596S sebagai pengendali utama dan dilengkapi dengan tampilan digital (display voltmeter) yang memungkinkan pengguna memantau nilai tegangan input maupun output secara langsung. Prinsip kerjanya didasarkan pada sistem *switching* regulator yang mengatur *duty cycle* sinyal PWM untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran



Gambar 2.8 Modul *Step Down* LM2596

Sumber: <https://store.ichibot.id/product/lm2596-dc-dc-voltage-regulator-adjustable-step-down-with-display>

#### 2.1.9 *LCD 16x2*

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan komponen elektronika yang mampu menampilkan 16 karakter pada dua baris sehingga total 32 karakter secara bersamaan. Umumnya menggunakan pengendali HD44780 yang memungkinkan komunikasi

dengan mikrokontroler melalui berbagai metode seperti paralel maupun I2C serta banyak digunakan dalam sistem monitoring karena kemudahan integrasi dan efisiensinya dalam menampilkan data secara real-time.(Hersaputri & Ghazi Izzulhaq, 2024)



Gambar 2.9 LCD 16x2

Sumber: <http://www.leselektronika.com/2012/06/liquid-crystal-display-lcd-16-x-2>

#### 2.1.10 Buzzer 5V



Gambar 2.10 Buzzer 5V

Sumber: <https://digiwarestore.com/en/mic-speaker-buzzer/buzzer-12v>

Buzzer 5V DC merupakan perangkat elektroakustik yang digunakan sebagai indikator suara dalam sistem elektronik, yang bekerja dengan sumber tegangan DC sebesar 5 volt dan berfungsi sebagai alat pemberi peringatan atau notifikasi. Buzzer 5V banyak digunakan pada sistem alarm, monitoring, dan perangkat IoT karena mampu menghasilkan suara yang cukup keras serta kompatibel dengan sumber daya standar, meskipun dalam penggunaannya sering memerlukan rangkaian driver tambahan apabila dikendalikan oleh mikrokontroler bertegangan rendah. Secara umum, buzzer merupakan perangkat sinyal audio yang digunakan pada alarm, timer, dan sistem peringatan untuk memberikan informasi kepada pengguna secara real-time.(Winda,

2023)

#### 2.1.11 *Push Button*



Gambar 2.11 *Push Button*

Sumber: <https://www.amazon.com.au>

*Push button* merupakan salah satu jenis saklar mekanik yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dalam suatu rangkaian dengan cara ditekan. Komponen ini bekerja secara sederhana, yaitu ketika tombol ditekan maka kontak akan terhubung (ON), dan ketika dilepas kontak akan kembali terputus (OFF) sesuai dengan jenisnya. *Push button* banyak digunakan dalam sistem elektronika sebagai input manual dari pengguna untuk memberikan perintah tertentu kepada sistem. Dalam sistem mikrokontroler seperti ESP32, *push button* sering digunakan sebagai perangkat input digital yang dihubungkan ke pin GPIO. Sinyal dari push button akan dibaca sebagai logika *high* atau *low* oleh mikrokontroler, tergantung pada konfigurasi rangkaian seperti penggunaan resistor pull-up atau pull-down.

#### 2.1.12 *Adaptor*



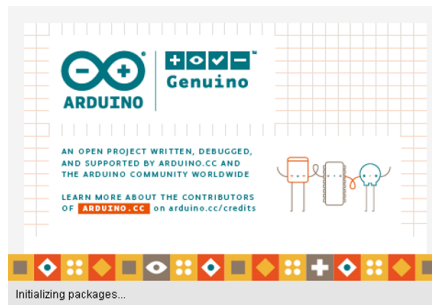
Gambar 2.12 Adaptor 12V

Sumber: <https://citraweb.com>

Adaptor adalah alat perangkat catu daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik arus bolak-balik (AC) dari sumber utama menjadi tegangan arus searah (DC) sebesar 12 volt yang stabil untuk digunakan pada perangkat elektronik. (Kresnha,

Sugiartowo, & Wicahyani, 2019) Secara umum, adaptor terdiri dari beberapa bagian utama yaitu transformator untuk menurunkan tegangan AC, rangkaian penyearah (rectifier) untuk mengubah AC menjadi DC, serta filter dan regulator untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih stabil dan minim ripple. Adaptor 12V banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem kontrol, perangkat IoT, dan sistem monitoring karena mampu menyediakan sumber daya yang konstan dan aman bagi komponen elektronik, meskipun kualitas tegangan keluaran sangat bergantung pada desain rangkaian dan komponen yang digunakan. Dalam implementasinya, adaptor sering dikombinasikan dengan regulator tambahan untuk memastikan kestabilan tegangan pada beban yang sensitif, sehingga dapat mendukung kinerja sistem secara optimal.

#### 2.1.13 *Arduino IDE*



Gambar 2.13 Arduino IDE

Sumber: <https://www.kmtech.id/post/mengenal-perangkat-lunak-arduino-ide>

Arduino IDE merupakan perangkat lunak *Integrated Development Environment* yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino maupun kompatibelnya seperti ESP32. Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++ yang disederhanakan dengan struktur fungsi utama *setup()* dan *loop()* sehingga memudahkan pengguna dalam mengembangkan sistem embedded. (Mahanin Tyas, Apri Buckhari, Studi Pendidikan Teknologi Informasi, & Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, 2023) Perangkat lunak ini menyediakan berbagai pustaka (*library*) siap pakai serta dukungan komunikasi serial yang memungkinkan integrasi dengan sensor, aktuator, dan modul komunikasi seperti MQTT dalam sistem Internet of Things (IoT). Selain itu, Arduino

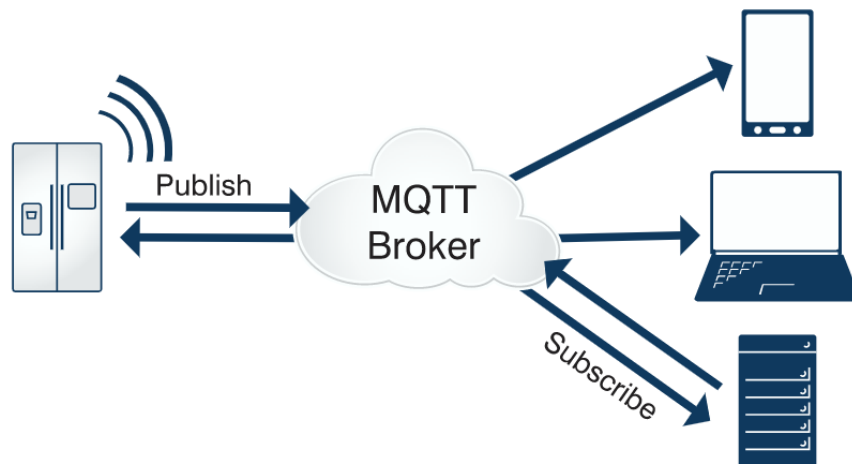
IDE bersifat *open-source* dan multiplatform sehingga dapat dijalankan pada berbagai sistem operasi, menjadikannya populer dalam pengembangan prototipe dan penelitian di bidang sistem kendali dan monitoring berbasis mikrokontroler.

#### 2.1.14 MQTT

*Message Queue Telemetry Protocol* (MQTT) adalah standar protokol pesan yang dirancang untuk dapat digunakan dalam komunikasi “*machine-to-machine*”, dimana protokol MQTT dapat berkomunikasi dengan *device* atau perangkat yang tidak memiliki alamat khusus yang berjalan di atas TCP/IP dan bersifat Open Source.

Protokol MQTT bekerja dengan menggunakan konsep Klien MQTT, *Broker* MQTT, mode Publikasi-Berlangganan (*Publish-Subscribe*), Topik:

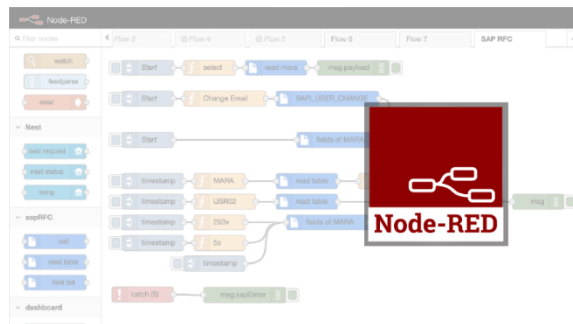
1. Klien MQTT adalah aplikasi atau perangkat untuk berkomunikasi yang menggunakan MQTT.
2. *Broker* MQTT adalah server yang mengelola komunikasi antara klien.
3. Mode Publikasi-Berlangganan memisahkan pengirim pesan (penerbit) dari penerima pesan (pelanggan).
4. Topik adalah label yang digunakan untuk mengidentifikasi pesan dan merutekannya



Gambar 2.14 MQTT  
Sumber: (ebyteiot.com)

### 2.1.15 Node RED

*Node-RED* adalah suatu alat pemograman untuk menghubungkan perangkat-perangkat keras, API, dan layanan online dengan cara yang baru dan menarik. *Node-RED* memberikan editor berbasis *browser* yang memudahkan pengguna untuk menghubungkan *flow* dengan penggunaan *node* yang luas di dalam *palette* yang dapat langsung diterapkan dengan satu klik. *Node-Red* juga dapat mempresentasikan data-data yang dikumpulkan dalam berbagai data visual, bisa berupa bagan garis (*line chart*), meteran (*gauge*), dan lain sebagainya dengan mudah dan praktis. (Sirait, Sonalitha, & Dirgantara, 2022)



Gambar 2.15 Node-RED  
Sumber: (flows.nodered.org)

### 2.1.16 Grafana



Gambar 2.16 Dashboard Grafana  
Sumber: <https://grafana.com/oss/grafana>

Grafana merupakan perangkat lunak *open-source* yang digunakan untuk visualisasi, pemantauan, dan analisis data secara real-time melalui dashboard interaktif. Grafana mampu terintegrasi dengan berbagai sumber data seperti database *time-series*

(misalnya InfluxDB), MySQL, maupun sistem berbasis cloud, sehingga memungkinkan pengguna untuk menampilkan data dalam bentuk grafik, tabel, dan indikator secara dinamis. Dalam sistem Internet of Things (IoT), Grafana sering dimanfaatkan untuk memantau parameter seperti tegangan, arus, dan kondisi sistem secara kontinu dengan dukungan fitur *time range*, notifikasi (*alerting*), serta pengolahan data historis. Selain itu, Grafana mendukung berbagai plugin dan memiliki fleksibilitas tinggi dalam pengaturan tampilan dashboard, sehingga banyak digunakan dalam penelitian dan aplikasi monitoring berbasis mikrokontroler maupun sistem industri.

#### 2.1.17 InfluxDB

InfluxDB sistem manajemen basis data *time-series* yang dirancang khusus untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data yang memiliki cap waktu (*timestamp*), seperti data sensor pada sistem Internet of Things (IoT). InfluxDB menggunakan struktur data berbasis *measurement*, *tag*, dan *field* yang memungkinkan penyimpanan data secara efisien serta mendukung performa tinggi dalam proses penulisan (*write*) dan pembacaan (*query*) data dalam jumlah besar. Selain itu, InfluxDB menyediakan bahasa kueri khusus seperti InfluxQL dan Flux yang memudahkan pengguna dalam melakukan analisis data historis maupun real-time. Dalam implementasinya, InfluxDB sering diintegrasikan dengan platform seperti Node-RED dan Grafana untuk membangun sistem monitoring yang mampu menampilkan data secara visual dan interaktif, sehingga banyak digunakan dalam penelitian dan pengembangan sistem monitoring berbasis IoT. (Wijayaningrum & Wakhidah, 2023)



Gambar 2.17 InfluxDB

Sumber: <https://www.bengkelti.com/blog/mengenal-influxdb>

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang relevan terkait monitoring DC Ground berbasis IoT yang menggunakan mikrokontroler ESP32, rangkaian voltage divider, sensor arus ACS758 *hall effect*, Protokol MQTT, Node-RED, InfluxDB, dan Grafana.

Penelitian yang dilakukan oleh (Triyanto & Syaepudin, 2023) dalam jurnal penelitian yang berjudul “Perancangan Sistem Monitoring Tegangan Baterai 110V Berbasis Blynk Pada Gardu Induk”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan yang mengalir dari sumber rectifier atau baterai. Pada penelitian ini menggunakan modul PZEM-017, NodeMCU ESP8266, RS485, Buzzer, Light Emitting Diode (LED), Arduino IDE, Blynk. Sistem ini mampu mengirimkan notifikasi melalui Blynk dan email ketika terjadi kondisi overvoltage dan undervoltage. Namun penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya memantau tegangan secara keseluruhan tanpa mendeteksi kondisi ground fault secara spesifik, sehingga tidak dapat memberikan informasi mengenai ketidakseimbangan tegangan antara kutub positif dan negatif terhadap ground yang merupakan indikasi awal terjadinya gangguan ground fault pada sistem DC floating. Penelitian ini menjadi acuan dalam pengembangan sistem monitoring tegangan DC pada gardu induk secara real-time.

Dalam permasalahan lain, (Solahuddin, 2024) yang berjudul “Perancangan Prototype Sistem Monitoring Tegangan per sel Baterai Berbasis IoT” Penelitian ini menggunakan rangkaian pembagi tegangan untuk mengukur tegangan agar sesuai dengan batas input analog ESP32, lalu data hasil pengukuran dikirim secara real-time ke platform Blynk sehingga dapat dipantau melalui LCD maupun jarak jauh via internet. Sistem ini mampu memonitor tegangan per sel baterai dengan buzzer sebagai indikator peringatan ketika tegangan turun di bawah 0.9V. Namun penelitian ini hanya berfokus pada pengukuran tegangan per sel tanpa mempertimbangkan deteksi gangguan ground fault, sehingga tidak dapat mendeteksi kondisi ketidakseimbangan tegangan terhadap ground yang sering terjadi pada sistem DC floating di gardu induk. Selain itu, penggunaan platform Blynk sebagai media visualisasi data memiliki keterbatasan dalam hal penyimpanan data historis jangka panjang, sehingga analisis

tren kondisi sistem DC dalam jangka waktu yang lebih panjang menjadi terbatas. Kesamaan penelitian ini terlihat pada penggunaan rangkaian voltage divider dan buzzer sebagai indikator peringatan yang juga diterapkan pada penelitian ini.

Penelitian ketiga yang dilakukan (Kadek Adyana Putra, Nyoman Satya Kumara, & A Putu Raka Agung, 2023) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Kecepatan Mobil Listrik Agnijaya Weimena”. Penelitian ini menggunakan rangkaian voltage divider yang terhubung secara paralel dengan baterai untuk mengukur tegangan dari baterai dan sensor arus ACS758 *hall effect* yang terhubung secara seri dengan kabel *phase* motor BLDC untuk mengukur arus pada *phase*. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu melakukan pengukuran tegangan, arus, dan kecepatan menggunakan SD card sebagai media penyimpanan. Namun penelitian ini tidak mengimplementasikan sistem komunikasi berbasis IoT sehingga data hanya tersimpan secara lokal di SD card dan tidak dapat dipantau secara real-time dari jarak jauh. Keterbatasan ini menjadi salah satu hal yang diperbaiki dalam penelitian ini, dimana data hasil pengukuran dikirimkan secara real-time melalui protokol MQTT dan dapat dipantau melalui dashboard Grafana dari mana saja. Relevansi penelitian ini terlihat pada penggunaan rangkaian voltage divider dan sensor arus ACS758 *hall effect* yang juga digunakan pada penelitian ini.

Pada penelitian keempat oleh (Yuniarto et al., 2023) dengan judul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things” menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler dan protokol MQTT. MQTT menggunakan model *publish/subscribe* yang memerlukan kontrol terpusat yang disebut dengan broker. *Client* yang berperan sebagai *publisher* akan mem-*publish* topik tertentu ke broker kemudian ada *client* lainnya yang berperan sebagai *subscriber* yang akan menerima topik tertentu pada *broker*. Hasil penelitian menunjukkan sistem monitoring dan kontrol energi listrik 3 fasa dengan protokol MQTT dan Thingsboard berhasil diimplementasikan. Namun penelitian ini berfokus pada sistem AC 3 fasa dan menggunakan platform Thingsboard yang memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas kustomisasi visualisasi data dibandingkan dengan Grafana. Selain itu, penelitian ini tidak membahas mekanisme

deteksi gangguan secara spesifik seperti ground fault pada sistem DC floating. Penggunaan protokol MQTT pada penelitian ini menjadi acuan dalam pengembangan sistem komunikasi data pada penelitian yang dilakukan.

Penelitian kelima oleh (Arifianto & Prasetyani, 2022) dengan judul "Sistem Pemantauan dan Kontrol Energi Listrik Menggunakan Platform Node-RED, Influxdb dan Grafana melalui Jaringan Wifi dan Lora". Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32, kemudian pengembangan perangkat lunak untuk mendukung sistem tersebut antara lain Node-RED sebagai dasbor dan pengembangan *back-end*, InfluxDB sebagai manajemen basis data dan Grafana sebagai visualisasi data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan energi dan pengendalian alat listrik dengan baik. Namun penelitian ini berfokus pada monitoring energi listrik AC secara umum dan tidak memiliki mekanisme deteksi gangguan secara otomatis seperti alarm atau notifikasi ketika terjadi kondisi abnormal pada sistem yang dipantau. Selain itu, penelitian ini tidak membahas aspek isolasi tegangan yang diperlukan ketika memantau sistem DC tegangan tinggi seperti pada gardu induk. Hal-hal inilah yang menjadi pembeda sekaligus pelengkap dalam penelitian ini, dimana sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan deteksi ground fault otomatis, alarm buzzer dan relay, serta modul isolasi AMC1200 untuk keamanan pengukuran pada sistem DC floating.

| No | Penelitian                   | Judul                                                                               | Komponen                                                                                       | Hasil                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | (Triyanto & Syaepudin, 2023) | Perancangan Sistem Monitoring Tegangan Baterai 110V Berbasis Blynk Pada Gardu Induk | modul PZEM-017, NodeMCU ESP8266, RS485, Buzzer, Light Emitting Diode (LED), Arduino IDE, Blynk | Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengirimkan notifikasi melalui <i>software</i> Blynk dan email jika kondisi baterai mengalami gangguan <i>overvoltage</i> dan <i>undervoltage</i>                                         |
| 2. | (Solahuddin, 2024)           | Perancangan Prototype Sistem Monitoring Tegangan per sel Baterai Berbasis IoT       | Menggunakan ESP32, rangkaian voltage divider, buzzer, platform Blynk serta LCD.                | Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor tegangan per sel baterai menggunakan metode pembagi tegangan serta penggunaan buzzer sebagai indikator peringatan ketika tegangan turun dan LCD untuk menampilkan hasil pengukuran. |

| No | Penelitian                        | Judul                                                                                                                       | Komponen                                                                                          | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. | (Kadek Adyana Putra et al., 2023) | Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Kecepatan Mobil Listrik Agnijaya Weimena                               | Arduino Mega 2560 Pro Mini, voltage divider, ZMPT101B, ACS712, ACS758, modul <i>Micro SD Card</i> | Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran terhadap tegangan, arus, dan kecepatan mobil listrik menggunakan rangkaian voltage divider dan sensor arus ACS758 <i>hall effect</i> serta menggunakan <i>SD card</i> sebagai media penyimpanan |
| 4. | (Yuniarto et al., 2023)           | Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things | ESP32, Sensor PZEM-004T, MQTT, Thingsboard                                                        | Hasil penelitian ini menunjukkan sistem monitoring dan kontrol energi listrik menggunakan beban 3 fasa dengan protokol MQTT dan <i>Thingsboard</i> berhasil dilakukan sesuai dengan target penelitian                                                                    |

| No | Penelitian                     | Judul                                                                                                                           | Komponen                                                                   | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. | (Arifianto & Prasetyani, 2022) | Sistem Pemantauan dan Kontrol Energi Listrik Menggunakan Platform Node-RED, Influxdb dan Grafana melalui Jaringan Wifi dan Lora | ESP32, Modul LoRa, Sensor PZEM-004T, Node-RED, Database InfluxDB, Grafana. | Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan energi dan pengendalian alat listrik. Sistem informasi yang terdiri dari server (Raspberry Pi), Node-RED, dan Komunikasi (Protokol MQTT), InfluxDB sebagai database dan Grafana untuk visualisasi data telah berhasil diimplementasikan dengan baik |