

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Gardu Beton

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). (Standar Konstruksi PLN, 2010)

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

Jenis pemasangannya :

- a) Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
- b) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

Jenis Konstruksinya :

- a) Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
- b) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
- c) Gardu Kios

Jenis Penggunaannya :

- a) Gardu Pelanggan Umum
- b) Gardu Pelanggan Khusus

Gardu beton Adalah seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonrywall building).

Instalasi hubung yang terpasang harus sesuai dengan rangkaian yang diperlukan. Bentuk-bentuk rangkaian yang dijumpai : Pada perlengkapan hubung tegangan menengah 20 kV gardu distribusi pasangan dalam umum terdiri atas beberapa jenis kubikel :

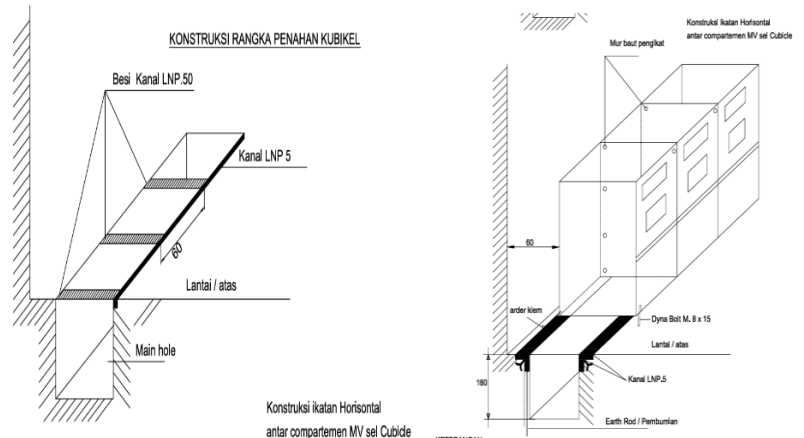
1. Kubikel Pemutus Beban – Kubikel Pemisah
2. Load Break Switch (LBS) Disconnecting Switch (DS).Jenis ini direkomendasikan tidak dipergunakan lagi.
3. Kubikel Pengaman Transformator – Tranformator Protection (TP) dengan saklar Load Break Switch (LBS) dan Proteksi Arus Lebih jenis pengaman lebur.
4. Kubikel sambungan pelanggan.



Gambar 2. 2 Gardu Beton



Gambar 2. 3 Komponen Gardu Beton HSTK



Gambar 2. 4 Standar Konstruksi Manhole Gardu Beton

c. Pemeliharaan Gardu Beton

Pemeliharaan dalam sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai serangkaian kegiatan yang dilakukan secara terencana maupun darurat untuk menjaga keandalan peralatan, mencegah gangguan, serta mengembalikan fungsi peralatan agar tetap bekerja sesuai standar.(Hariswanda & Anshory, 2024)

Pemeliharaan gardu beton atau gardu kubikel adalah serangkaian kegiatan pemeriksaan, perawatan, perbaikan, dan penggantian yang dilakukan secara terencana maupun korektif terhadap peralatan distribusi listrik di dalam gardu. Tujuan utamanya adalah memastikan bahwa gardu beserta komponennya—seperti transformator, kubikel, panel proteksi, dan sistem sambungan—dapat berfungsi dengan aman, andal, efektif, dan efisien dalam menyalurkan energi listrik kepada pelanggan. Dalam praktiknya, pemeliharaan ini mencakup pemeliharaan preventif (pencegahan kerusakan), pemeliharaan korektif (perbaikan saat terjadi gangguan), serta pemeliharaan prediktif (berdasarkan hasil monitoring kondisi peralatan).(Firmansyah & Rahmadewi, 2023)

Tujuan utama dari pemeliharaan gardu beton atau gardu kubikel adalah untuk menjaga keandalan pasokan listrik agar tetap stabil dan menghindari terjadinya pemadaman yang tidak terduga. Dengan pemeliharaan yang rutin dan terencana, risiko kerusakan pada peralatan vital seperti transformator dan kubikel dapat diminimalkan sehingga sistem distribusi listrik dapat beroperasi secara optimal. Selain itu, pemeliharaan juga memiliki

peran penting dalam menjamin keselamatan kerja bagi petugas yang melakukan operasi di lapangan maupun masyarakat di sekitar lokasi gardu. Melalui pemeliharaan yang baik, umur teknis peralatan distribusi dapat diperpanjang, sehingga investasi infrastruktur listrik menjadi lebih efisien. Tidak hanya itu, keberlangsungan pemeliharaan juga berdampak langsung pada peningkatan efisiensi sistem dan kualitas pelayanan energi listrik kepada konsumen, sehingga keandalan serta kepuasan pelanggan dapat terus terjaga. (Wiherdiansyah et al., 2024)

Komponen utama gardu kubikel perlu mendapatkan pemeliharaan rutin agar sistem distribusi listrik tetap andal. Kubikel 20 kV sebagai pemutus, penghubung, dan proteksi harus dibersihkan dari debu, diperiksa baut dan tegangannya, serta diberi cairan elektrik dan pengeringan kompartemen untuk mencegah korosi. Transformator distribusi diperiksa kondisi fisik, sambungan, isolasi, serta potensi kebocoran oli. Panel proteksi seperti PMT, LBS, isolator, busbar, dan kabel diperiksa secara visual, dibersihkan, sambungan dikencangkan, dan dilakukan uji tahanan isolasi. Ventilasi dan heater dijaga agar kelembapan terkendali sehingga tidak menimbulkan korona atau jamur. Selain itu, lingkungan gardu seperti bangunan beton dan drainase harus dipelihara untuk mencegah rembesan air maupun masuknya hewan. Terakhir, sistem pentanahan harus selalu diperiksa agar berfungsi baik dalam melindungi peralatan serta menjamin keselamatan petugas. Dengan pemeliharaan tersebut, gardu kubikel dapat bekerja lebih aman, efisien, dan berumur panjang. (Wiherdiansyah et al., 2024)

2.1.2. Kelembapan, Korosi dan Corona

1. Kelembapan

Kelembapan adalah besaran yang menunjukkan jumlah uap air yang terkandung di udara pada suatu kondisi tertentu. Secara umum, kelembapan dinyatakan dalam kelembapan relatif (Relative Humidity, RH), yaitu perbandingan antara jumlah uap air yang ada di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu yang sama, biasanya dalam satuan persen (%). (Husada et al., 2019)

Kelembapan merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap kinerja dan keandalan gardu beton maupun kubikel 20 kV. Kondisi kelembapan yang tinggi di dalam ruang kubikel dapat memicu terbentuknya kondensasi pada permukaan logam dan isolator. Hal ini berpotensi menyebabkan timbulnya korona, menurunnya kualitas isolasi, hingga gangguan serius pada sistem distribusi listrik.

Salah satu penyebab utama kelembapan adalah suhu lingkungan yang rendah. Ketika suhu ruang berada di bawah 30°C, uap air di udara cenderung mengembun pada permukaan peralatan, sehingga meningkatkan kelembapan relatif di dalam ruang gardu. Kondisi ini semakin diperparah jika udara ambien tidak berada pada rentang ideal. Berdasarkan penelitian, suhu yang sesuai untuk ruang kubikel adalah antara 30–40°C dengan kelembapan 40–70%. Apabila kelembapan melebihi batas tersebut, misalnya mencapai 90% atau lebih, risiko terjadinya korona discharge dan kerusakan isolasi akan meningkat secara signifikan. Selain faktor suhu, kerusakan atau ketidakefektifan sistem ventilasi dan pemanas (heater) juga menjadi penyebab utama kelembapan. Heater berfungsi menjaga kestabilan suhu dan mengurangi kelembapan. Jika alat ini tidak bekerja dengan baik atau sudah melewati umur pakainya, udara dalam ruang kubikel akan menjadi lembap, sehingga kondensasi tidak dapat dikendalikan. Faktor eksternal lingkungan juga turut memengaruhi. Gardu yang berada di dekat sumber air, memiliki sistem drainase buruk, atau dikelilingi vegetasi dengan tingkat penguapan tinggi lebih rentan mengalami kelembapan berlebih. Begitu pula dengan kondisi atmosfer, seperti curah hujan tinggi atau kabut, serta faktor topografi yang menghambat sirkulasi udara.(Iskandar et al., 2025)

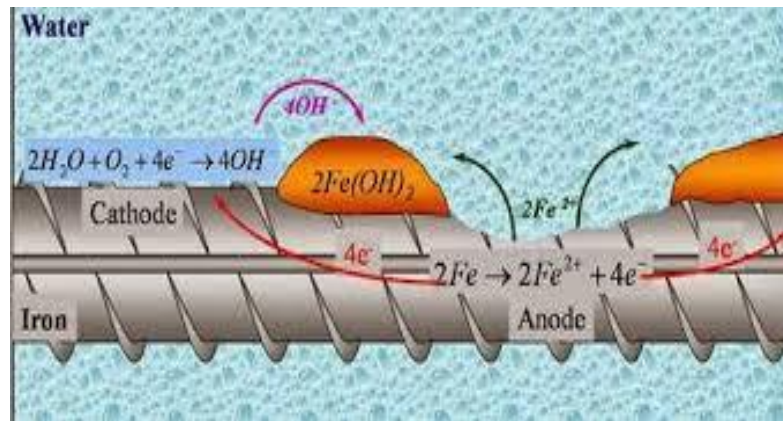
2. Korosi

Menurut Sato (1990) Korosi dapat terjadi pada lingkungan cair dan dapat pula gas asalkan terjadi Oksidasi dengan penguraian logam pada anodik dan reduksi pada katodik. Menurut Trethwey & Chamberlain (1991) Korosi adalah proses kerusakan material logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya, seperti udara lembab, polusi, atau zat kimia lain. Berdasarkan reaksi elektrokimia melibatkan lingkungan elektrolit (air). Korosi ini umumnya merupakan korosi basah. Pengertian korosi secara elektrokimia merupakan

proses pelepasan elektron (hanya terjadi pada logam) karena terjadi pada ikatan logam antar atom (mampu mengalirkan listrik). Adanya beda potensial yang terjadi terus menerus karena aliran elektron secara kontinyu. (Femiana Gapsari, 2017)

Pada gardu beton (panel distribusi listrik), korosi sering menyerang:

- Bagian logam: seperti rel tembaga, baut, dan casing baja.
- Dampak: menurunkan konduktivitas, memperbesar resistansi kontak, memicu panas berlebih, bahkan kebakaran.
- Pencegahan: menggunakan pelapisan anti-karat (coating), sistem ventilasi yang baik, serta perawatan berkala.



Gambar 2. 5 Proses Korosi

Menurut Jones (1996) dalam bukunya Principles and Prevention of Corrosion, korosi dapat diperlambat dengan pemilihan material tahan karat, penggunaan inhibitor, dan proteksi katodik. Pada kubikel distribusi, strategi pencegahan lebih menekankan pada kontrol lingkungan dan perawatan rutin. (Aza et al., 2024)

Kubikel sering ditempatkan pada manhole untuk jalur kabel. Namun, kondisi manhole yang lembab atau tergenang air dapat menyebabkan dua masalah besar pada peralatan listrik, yaitu korosi dan corona discharge.



Gambar 2. 6 Manhole kubikel terdapat genangan air

Menurut SPLN 64-1:2017 (PLN), kelembaban tinggi dan genangan air di manhole merupakan salah satu penyebab utama penurunan keandalan kubikel, karena mempercepat proses degradasi isolasi dan kerusakan mekanis peralatan. (PT. PLN (Persero), 2017)

Genangan air mengandung oksigen terlarut, ion klorida, dan polutan lain yang mempercepat reaksi elektrokimia pada logam (trafo, busbar, baut, rel, casing).

Ciri-ciri korosi pada logam yaitu :

- Perubahan warna (karat) → mengurangi kekuatan mekanis.
- Resistansi kontak meningkat → timbul panas berlebih.
- Risiko short circuit jika air mencapai komponen aktif.

3. Corona

Fenomena corona merupakan salah satu bentuk pelepasan muatan listrik yang terjadi ketika medan listrik di sekitar konduktor bertegangan tinggi melebihi kekuatan dielektrik udara. Kondisi ini menyebabkan molekul udara terionisasi dan menghasilkan cahaya kebiruan, suara berdesis, serta pembentukan ozon (O_3). Corona umumnya terjadi pada konduktor dengan permukaan tajam, tidak rata, atau kotor, karena bentuk tersebut membuat medan listrik terkonsentrasi pada titik tertentu. Faktor lingkungan seperti kelembapan tinggi, hujan, kabut, dan polusi udara juga dapat memperparah terjadinya corona. Selain menimbulkan rugi-rugi energi, fenomena ini berpotensi merusak isolasi

peralatan dalam jangka panjang apabila tidak ditangani dengan baik. Sementara itu, partial discharge (PD) adalah pelepasan muatan listrik sebagian yang terjadi pada sebagian kecil area sistem isolasi ketika tegangan operasi melebihi daya tahan lokal dari material isolasi. Partial discharge dapat muncul dalam bentuk percikan kecil di rongga udara, retakan, maupun kontaminasi pada bahan isolasi. Berbeda dengan kegagalan total, partial discharge bersifat lokal dan tidak langsung menyebabkan hubung singkat, namun dalam jangka panjang dapat mengakibatkan degradasi isolasi, pemanasan berlebih, dan akhirnya menurunkan umur peralatan listrik. Kedua fenomena ini saling berkaitan. Corona discharge termasuk salah satu bentuk partial discharge eksternal yang terjadi di udara di sekitar konduktor bertegangan tinggi. Jika dibiarkan, corona dapat berkembang menjadi pelepasan listrik yang lebih besar atau bahkan arc discharge yang merusak peralatan distribusi, seperti kubikel 20 kV. Oleh karena itu, pencegahan melalui desain konduktor yang baik, pengendalian kelembapan, serta perawatan rutin menjadi sangat penting untuk menjaga keandalan sistem distribusi listrik.(FIKRI et al., 2022)

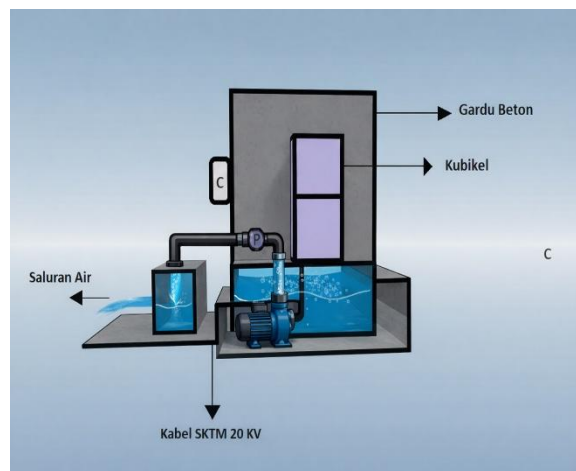
Menurut Rizk (1982) dalam Corona Discharge in Electrical Systems, corona tidak hanya menurunkan efisiensi sistem tetapi juga dapat memperpendek umur isolasi peralatan. Oleh karena itu, desain kubikel harus memperhatikan clearance, permukaan halus, serta isolasi bersih dan kering.



Gambar 2. 7 Korona Pada Kabel

2.1.3. Sistem Drainase

Drainase adalah sistem drainase didefinisikan sebagai serangkaian saluran atau bangunan air yang dirancang untuk mengalirkan, mengurangi, atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan. Drainase memiliki peran penting dalam mengendalikan limpasan air hujan maupun limbah domestik agar tidak menimbulkan genangan maupun banjir di wilayah perkotaan. Tujuan utama pembangunan sistem drainase adalah menjaga fungsi lahan dan infrastruktur, melindungi lingkungan permukiman dari risiko genangan, serta mendukung kenyamanan masyarakat. Lebih jauh, sistem drainase juga berfungsi sebagai bagian dari pengelolaan sumber daya air, karena mengatur keseimbangan antara limpasan, infiltrasi, dan aliran permukaan . (Prayogo et al., 2023)



Gambar 2. 8 Ilustrasi Manhole Tergenang Air

Maka dari itu Sistem drainase sangat dibutuhkan untuk gardu beton dengan tingkat kelembapan yang tinggi terlebih apabila gardu tersebut terdapat genangan air.

2.1.4. Mikrokontroler

Mikrokontroler dapat diibaratkan sebagai sebuah komputer kecil yang dirancang khusus untuk melakukan satu tugas tertentu. Berbeda dengan komputer pribadi yang bersifat serbaguna, mikrokontroler hanya ditanamkan (embedded) di dalam perangkat

untuk mengontrol fungsi tertentu. Karena itu, mikrokontroler sering disebut sebagai pengendali tertanam. (Jatnika et al., 2021)

Perkembangan mikrokontroler berawal pada tahun 1970-an, ketika dunia teknologi diperkenalkan dengan mikroprosesor pertama seperti Zilog Z-80 dan Intel 80386. Pada awalnya, prosesor ini digunakan untuk komputer rumah dan perangkat desktop, namun kemudian disadari bahwa konsep prosesor kecil dan hemat daya sangat cocok untuk mengendalikan perangkat elektronik sederhana. Dari sinilah lahir generasi pertama mikrokontroler, misalnya Intel 8051 dan Motorola 6811, yang dirancang khusus untuk menjadi pengendali tertanam dalam perangkat. Mikrokontroler ini kemudian banyak dipakai pada alat elektronik rumah tangga dan otomotif, karena ukurannya kecil, harganya murah, dan mampu bekerja dengan daya yang rendah. Memasuki tahun 1990-an, perusahaan Microchip Technology memperkenalkan seri PIC mikrokontroler. Seri ini semakin memperluas penggunaan mikrokontroler karena mudah diproduksi massal, fleksibel, dan dapat memenuhi kebutuhan industri dengan biaya yang lebih terjangkau. Pada awal 2000-an, peran mikrokontroler semakin meluas dengan berkembangnya konsep Internet of Things (IoT). Mikrokontroler tidak hanya dipakai pada perangkat sederhana, tetapi juga menjadi otak dari berbagai perangkat pintar yang terhubung dengan jaringan internet, seperti jam tangan pintar, sensor rumah tangga, hingga sistem otomotif modern. Tonggak penting berikutnya adalah pada tahun 2005, ketika muncul platform open-source ESP 32. ESP 32 membuat mikrokontroler menjadi lebih mudah dipelajari dan digunakan, bukan hanya oleh insinyur atau teknisi, tetapi juga oleh pelajar, mahasiswa, dan para penggemar elektronika. ESP 32 membuka jalan bagi siapa saja untuk membuat prototipe perangkat pintar dengan cepat dan murah. (Jatnika et al., 2021)

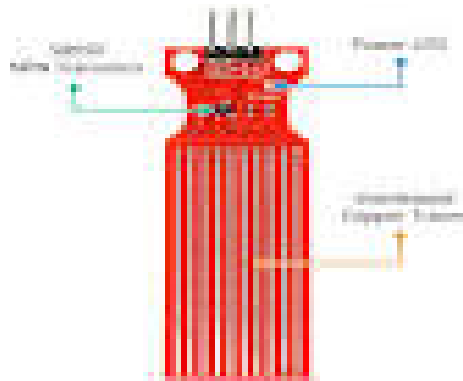
ESP32 adalah mikrokontroler 32-bit yang dilengkapi Wi-Fi dan Bluetooth buatan Espressif Systems. Modul ini umum digunakan dalam proyek Internet of Things (IoT) karena kemampuan konektivitasnya yang lengkap, konsumsi daya rendah, serta kemampuan pemrosesan yang baik untuk sistem kendali dan monitoring. ESP32 dapat

diprogram menggunakan Arduino IDE, ESP-IDF, atau bahasa tingkat tinggi seperti MicroPython. Kelebihan ESP32 mencakup fleksibilitas I/O, dukungan sensor, kemampuan komunikasi nirkabel, serta harga yang terjangkau untuk aplikasi embedded dan IoT.



Gambar 2. 9 ESP 32

2.1.5. Sensor Water Level



Gambar 2. 10 Sensor Water Level

Sensor ketinggian air ini adalah sebuah perangkat elektronik sederhana yang digunakan untuk mendeteksi tinggi air dalam suatu wadah atau tangki. Sensor ini biasanya berbentuk papan tipis dengan jalur konduktif yang akan berubah resistansinya ketika bersentuhan dengan air. Cara kerjanya cukup sederhana, semakin tinggi air yang

menyentuh sensor, semakin banyak jalur konduktif yang terhubung, sehingga nilai resistansi berkurang dan sensor dapat mengirimkan data analog ke mikrokontroler. Dari data ini, ESP 32 bisa menginterpretasikan level air apakah rendah, sedang, atau penuh.(Rindra et al., 2022)

Memiliki fungsi sebagai berikut :

- **Pemantauan Level Air**
Digunakan untuk mengukur ketinggian air dalam tangki, sumur, kolam, atau wadah cairan.
- **Kontrol Pompa Otomatis**
Sensor ini bisa dipakai untuk sistem otomatisasi pompa air, misalnya menyalakan pompa ketika air habis dan mematikannya ketika penuh.
- **Sistem Peringatan Dini**
Dapat digunakan untuk deteksi kebocoran atau sistem peringatan banjir.
- **Integrasi IoT**
Jika dihubungkan dengan modul komunikasi, sensor ini bisa menjadi bagian dari sistem monitoring jarak jauh berbasis Internet of Things.

2.1.6. Sensor Rain Detector

Sensor hujan merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air hujan atau percikan air pada suatu permukaan. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan sifat listrik, umumnya resistansi atau konduktivitas, ketika permukaan sensor terkena air. Saat tidak terdapat air, nilai resistansi relatif tinggi, sedangkan ketika air mengenai permukaan sensor, resistansi akan menurun sehingga dapat dideteksi oleh sistem pengendali. Dalam penerapannya, sensor hujan sering digunakan sebagai bagian dari sistem otomasi dan monitoring lingkungan. Sensor ini mampu memberikan informasi awal mengenai kondisi cuaca, khususnya terjadinya hujan, sehingga sistem dapat mengambil tindakan secara otomatis, seperti menutup atap jemuran, mengaktifkan wiper otomatis, atau mengendalikan sistem irigasi dan perangkat berbasis

Internet of Things (IoT). Sensor hujan umumnya terdiri dari dua bagian utama, yaitu pelat sensor dan modul pengolah sinyal.



Gambar 2. 11 Rain sensor

Pelat sensor berfungsi sebagai area pendeteksi air, sedangkan modul pengolah sinyal berperan dalam mengubah perubahan resistansi menjadi sinyal keluaran berupa data analog maupun digital. Sensitivitas sensor dapat diatur melalui potensiometer pada modul, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Penggunaan sensor hujan memiliki beberapa kelebihan, antara lain respon yang cepat terhadap air, konstruksi yang sederhana, serta kemudahan integrasi dengan mikrokontroler seperti ESP 32 atau Arduino. Namun demikian, sensor ini juga memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap kondisi permukaan sensor dan potensi korosi apabila digunakan dalam jangka waktu lama tanpa perawatan yang memadai.

2.1.7. Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor DHT11 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di lingkungan sekitar. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem monitoring lingkungan karena memiliki bentuk yang sederhana, konsumsi daya rendah, serta kemudahan dalam integrasi dengan berbagai mikrokontroler seperti ESP 32 dan Arduino. DHT11 bekerja dengan mengombinasikan dua elemen utama, yaitu sensor suhu berbasis NTC thermistor dan sensor kelembapan tipe capacitive humidity sensor. Data hasil pengukuran dari kedua elemen tersebut diproses oleh mikrokontroler internal pada sensor dan dikirimkan dalam bentuk sinyal digital melalui satu jalur komunikasi data. Dengan

sistem komunikasi digital ini, DHT11 mampu mengurangi gangguan noise dibandingkan sensor analog.



Gambar 2. 12 Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor DHT11 memiliki rentang pengukuran suhu antara 0 °C hingga 50 °C dengan tingkat akurasi sekitar ± 2 °C, sedangkan pengukuran kelembapan berada pada kisaran 20% hingga 90% RH dengan akurasi sekitar $\pm 5\%$ RH. Meskipun tingkat akurasinya tergolong sedang, sensor ini sudah memadai untuk aplikasi pemantauan lingkungan sederhana dan sistem otomasi berskala kecil.

2.1.8. OLED

OLED (Organic Light Emitting Diode) merupakan teknologi layar yang menggunakan lapisan bahan organik yang dapat memancarkan cahaya sendiri ketika dialiri arus listrik. Berbeda dengan layar LCD yang memerlukan lampu latar (backlight), layar OLED mampu menghasilkan cahaya secara mandiri pada setiap pikselnya, sehingga menghasilkan kontras yang tinggi, warna yang tajam, dan konsumsi daya yang lebih efisien.



Gambar 2. 13 Organic Light Emitting Diode

Dalam sistem elektronika dan mikrokontroler, modul OLED sering digunakan sebagai media tampilan informasi secara real-time. Layar OLED berfungsi untuk menampilkan data hasil pengukuran sensor, status sistem, maupun informasi operasional lainnya dalam bentuk teks, angka, maupun simbol grafis. Modul OLED yang umum digunakan memiliki ukuran kecil, seperti 0,96 inci atau 1,3 inci, sehingga cocok untuk aplikasi sistem tertanam (embedded system). OLED umumnya berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protokol komunikasi serial seperti I2C atau SPI, yang memungkinkan penggunaan jumlah pin yang minimal dan mempermudah integrasi sistem. Selain itu, layar OLED memiliki waktu respon yang cepat dan sudut pandang yang luas, sehingga informasi tetap terlihat jelas dari berbagai arah. Penggunaan OLED banyak diterapkan pada sistem monitoring berbasis ESP 32 atau Arduino, perangkat IoT, alat ukur digital, dan sistem otomasi. Meskipun memiliki banyak keunggulan, OLED juga memiliki keterbatasan, seperti umur pakai yang lebih pendek dibandingkan LCD pada kondisi tertentu serta potensi penurunan kualitas tampilan jika digunakan secara terus-menerus dengan tampilan statis.

2.1.9. Adaptor 5 V dan 12 V

Adaptor merupakan perangkat catu daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik arus bolak-balik (AC) dari sumber PLN menjadi tegangan arus searah (DC) dengan nilai tertentu sesuai kebutuhan peralatan elektronik. Pada umumnya, tegangan listrik PLN sebesar 220 volt AC tidak dapat langsung digunakan oleh perangkat elektronika karena dapat menyebabkan kerusakan komponen. Oleh karena itu, adaptor digunakan sebagai media penurun dan penyearah tegangan agar menjadi lebih rendah, stabil, dan aman digunakan.

Secara prinsip kerja, adaptor bekerja melalui beberapa tahapan utama, yaitu transformator, penyearah, filter, dan regulator tegangan. Transformator berfungsi menurunkan tegangan AC 220 volt menjadi tegangan AC rendah. Selanjutnya, rangkaian penyearah yang terdiri dari dioda berfungsi mengubah arus AC menjadi DC. Tegangan DC tersebut kemudian diratakan menggunakan kapasitor filter untuk mengurangi riak

gelombang, dan akhirnya distabilkan oleh regulator sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang konstan sesuai spesifikasi adaptor. Adaptor 5 volt merupakan jenis adaptor yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 volt DC. Adaptor ini banyak digunakan pada rangkaian elektronika digital karena sesuai dengan kebutuhan kerja komponen logika dan mikrokontroler. Perangkat seperti ESP 32, sensor suhu, sensor kelembapan, modul komunikasi, serta LCD umumnya menggunakan sumber tegangan 5 volt. Adaptor 5V memiliki karakteristik daya yang relatif kecil, konsumsi arus rendah, serta tingkat keamanan yang tinggi sehingga sangat cocok digunakan pada sistem kendali dan monitoring berbasis mikrokontroler. Sementara itu, adaptor 12 volt merupakan adaptor yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12 volt DC. Jenis adaptor ini biasanya digunakan untuk peralatan yang memerlukan daya lebih besar dibandingkan rangkaian logika. Beban seperti motor DC, pompa air, kipas, solenoid valve, relay 12V, dan lampu LED strip umumnya menggunakan sumber tegangan 12 volt. Karena mampu menyuplai arus yang lebih besar, adaptor 12V sering digunakan pada sistem otomasi, panel kontrol, dan peralatan elektronika daya menengah.



Gambar 2. 14 Adaptor 5 Volt dan 12 Volt

Dalam penerapannya, adaptor 5V dan 12V sering digunakan secara bersamaan dalam satu sistem. Adaptor 12V dimanfaatkan untuk menyuplai aktuator seperti motor atau pompa, sedangkan adaptor 5V digunakan untuk mikrokontroler dan sensor. Untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan, tegangan 12V sering diturunkan menjadi 5V menggunakan modul step-down converter sehingga sistem dapat bekerja lebih stabil dan hemat energi. Penggunaan adaptor harus memperhatikan aspek keselamatan dan kesesuaian

spesifikasi. Tegangan dan arus adaptor harus sesuai dengan kebutuhan beban agar tidak terjadi panas berlebih atau kerusakan komponen. Selain itu, polaritas terminal positif dan negatif harus diperhatikan dengan benar, serta adaptor yang digunakan sebaiknya memiliki standar keamanan agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan aman.

Dengan demikian, adaptor 5V dan 12V memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem elektronika modern. Pemilihan adaptor yang tepat tidak hanya menjamin kinerja alat berjalan dengan baik, tetapi juga meningkatkan keandalan, efisiensi, dan umur pakai seluruh rangkaian elektronik yang digunakan.

2.1.10. Motor DC (Pompa Air)

Motor Listrik Adalah penggerak (aktuator) yang memiliki peran penting di dunia industry. Pada prinsipnya kerja motor Listrik berdasarkan prinsip gaya magnet apabila ada 2 kutub magnet berdekatan maka akan timbul gaya atraksi. Apabila kutubnya Motor listrik adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (gerak putar). Prinsip dasarnya adalah gaya Lorentz: ketika arus listrik mengalir pada konduktor yang berada dalam medan magnet, maka timbul gaya yang menyebabkan konduktor tersebut bergerak.(Jacob et al., 2019)

Terdapat dua jenis utama motor listrik:

- Motor Arus Searah (DC Motor) → bekerja dengan arus DC.
- Motor Arus Bolak-balik (AC Motor) → bekerja dengan arus AC (misalnya motor induksi, sinkron).

Dalam sistem pompa air, motor DC sering digunakan karena:

- Mudah dikontrol kecepatannya.
- Respon cepat terhadap perubahan tegangan.
- Efisien untuk sistem yang dikendalikan otomatis (misalnya berbasis Simulink atau mikrokontroler).

Dalam sistem pompa air, motor listrik berfungsi untuk:

1. Menggerakkan poros pompa sehingga terjadi aliran fluida dari tekanan rendah ke tekanan tinggi.
2. Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik rotasi, yang selanjutnya memutar impeller pompa.
3. Mengatur laju aliran air (*flow rate*) melalui pengendalian tegangan atau kecepatan motor.
4. Memungkinkan otomatisasi irigasi, terutama bila dihubungkan dengan sensor kelembapan tanah dan sistem kontrol.

Motor DC bekerja berdasarkan interaksi antara arus listrik dan medan magnet. Saat arus mengalir melalui kumparan armatur di dalam medan magnet, muncul gaya elektromagnetik yang menghasilkan torsi (gaya putar).(Jacob et al., 2019)



Gambar 2. 15 Motor DC

Gaya gerak listrik lawan (***back EMF***) muncul ketika rotor berputar, yang menyeimbangkan tegangan suplai. Hubungan dasar:

Tabel 2. 1 Jenis-jenis Motor

Komponen	Fungsi
Motor DC	Mengubah energi listrik menjadi gerak putar.
Pompa sentrifugal	Mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik air (aliran).
Sprinkler	Menyemprotkan air ke area tanaman dalam bentuk hujan buatan.
Model kelembapan tanah	Memonitor kadar air dalam tanah untuk menentukan kebutuhan irigasi.
Model serapan air tanaman	Mengukur kemampuan akar dalam menyerap air dari tanah.
Kontroler (PID/Fuzzy)	Mengatur tegangan motor agar laju aliran sesuai kebutuhan air tanaman.

2.1.11. Modul relay

Relay adalah saklar listrik yang dioperasikan secara elektromagnetik, digunakan untuk mengendalikan sirkuit (rangkaian) bertegangan tinggi atau berarus besar menggunakan sinyal listrik berdaya kecil. Relay bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik: ketika arus listrik mengalir melalui kumparan (coil) di dalam relay, terbentuk medan magnet yang menarik tuas logam (armature) sehingga mengubah posisi kontak — dari *Normally Closed (NC)* menjadi *Normally Open (NO)* atau sebaliknya. Dengan kata lain, relay berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus listrik secara otomatis tanpa kontak langsung manusia, serta memungkinkan mikrokontroler (seperti ESP 32, PLC, Raspberry Pi) untuk mengontrol perangkat listrik yang dayanya jauh lebih besar. (Parab & Prajapati, 2019)

Tabel 2. 2 Jenis-jenis relay

Jenis	Karakteristik / Perbedaan
<i>Electromechanical Relay</i>	Pakai coil elektromagnetik, kontak mekanik; ada kontak NO (normally open), NC (normally closed).
<i>Solid State Relay (SSR)</i>	Tanpa bagian bergerak; menggunakan semikonduktor; cepat, awet, tapi mungkin lebih mahal dan punya drop tegangan tertentu.
Module Relay	Relay + driver + proteksi + interface (mis. optocoupler) agar aman dan mudah digunakan dengan mikrokontroler.

Relay elektromagnetik adalah komponen saklar listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu perubahan energi listrik menjadi gaya magnet untuk menggerakkan kontak mekanis. Saat arus listrik mengalir melalui kumparan (coil) di dalam relay, timbul medan magnet yang menarik tuas logam (armature) sehingga mengubah posisi kontak — dari *Normally Open (NO)* menjadi tertutup, atau *Normally Closed (NC)* menjadi terbuka. Ketika arus dihentikan, medan magnet hilang dan pegas mengembalikan kontak ke posisi semula. Relay elektromagnetik memungkinkan rangkaian berarus kecil (misalnya dari mikrokontroler) untuk mengendalikan rangkaian berarus besar, sehingga sangat penting dalam sistem kendali otomatis dan proteksi listrik. (Parab & Prajapati, 2019)

Cara kerja relay elektromagnetik dapat dijelaskan melalui tiga tahap utama:

1. **Kondisi awal (OFF)**

Tidak ada arus yang mengalir ke kumparan → tidak ada medan magnet → armature tetap pada posisi semula → kontak NO terbuka dan NC tertutup.

2. **Kondisi aktif (ON).**

Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan, timbul medan magnet → armature tertarik ke inti besi → kontak NO tertutup dan NC terbuka → arus mengalir ke beban.

3. **Kondisi pelepasan (OFF kembali)**

Saat arus dihentikan, medan magnet hilang → pegas menarik kembali armature ke posisi awal → relay kembali ke keadaan semula.

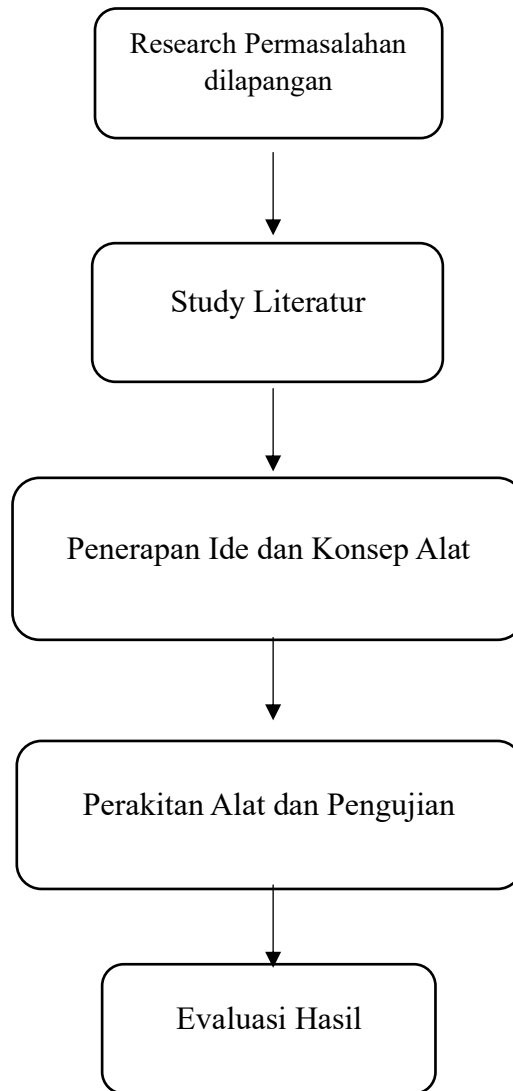
2.2. Penelitian yang relevan

Tabel 2. 3 Jurnal penelitian yang relevan

Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
Implementasi Pompa Air Otomatis Tenaga Surya untuk Rumah Ibadah (2020)	1. Masalah utama adalah ketergantungan pompa air masjid terhadap listrik PLN yang sering padam, menyebabkan jamaah harus mengambil air secara manual. 2. Belum ada sistem pompa air yang mandiri dan otomatis di daerah dengan keandalan listrik rendah.	1. Penelitian berbentuk pengabdian masyarakat berbasis eksperimen. 2. Tahapan pelaksanaan: observasi lapangan, perancangan sistem, pemasangan alat, dan pengujian. 3. Sistem terdiri dari: panel surya 300 WP, baterai 90 Ah, inverter 1200 Watt, solar charger 40A, dan pompa air induksi 125 Watt. 4. Dilengkapi sakelar apung (float switch) untuk otomasi.	1. Sistem pompa air otomatis tenaga surya berfungsi sesuai rencana dan mampu menyediakan air bersih meski listrik padam. 2. Pompa bekerja otomatis: hidup saat tangki kosong dan mati saat tangki penuh. 3. Baterai mampu menyuplai pompa selama ± 2 jam saat tidak ada sinar matahari. 3. Hasil uji inverter menunjukkan gelombang sinusoidal dengan THD tegangan 0,51% dan THD arus 21,81%, artinya sistem berjalan stabil.	1. Sebagian besar penelitian sebelumnya fokus pada penerapan di bidang pertanian, bukan rumah ibadah atau fasilitas umum. 2. Belum banyak riset yang menggabungkan otomasi pompa dengan tenaga surya dan sistem penyimpanan ganda (air & baterai). 3. Penelitian ini belum mengukur efisiensi energi jangka panjang atau analisis biaya pemeliharaan sistem. 4. Masih diperlukan pengembangan kapasitas panel dan sistem monitoring IoT untuk pemantauan jarak jauh.
Analisa Kinerja Sistem Drainase terhadap Penanggulangan Banjir dan Genangan Berbasis Konservasi Air di Kecamatan Bojonegoro Kabupaten Bojonegoro (Bayu Wicaksono, Pitojo Tri Juwono, Dian Sisinggih – Jurnal Teknik Pengairan, Vol. 9 No. 2, 2018)	1. Kecamatan Bojonegoro sering mengalami genangan dan banjir saat musim hujan akibat topografi yang datar, perubahan tata guna lahan, serta sistem drainase yang tidak memadai. 2. Kapasitas saluran eksisting tidak mampu menampung debit limpasan hujan.	1. Penelitian menggunakan metode survei lapangan dan analisis hidrologi. 2. Perhitungan curah hujan rancangan dengan metode Mononobe dan Log Pearson III. 3. Analisis kapasitas saluran drainase dilakukan dengan software SewerGEMS Connect. 4. Evaluasi dilakukan untuk membandingkan kondisi eksisting dan setelah penerapan konservasi air (kolam retensi, sumur resapan, dan modifikasi saluran).	1. Ditemukan 12 ruas saluran yang mengalami luapan genangan dengan kedalaman rata-rata 119,4%. 2. Solusi yang diusulkan: - Kolam retensi ukuran 100×50×2 m dengan pompa 0,5 m ³ /dtk. - 577 sumur resapan dengan rain barrel 750 L mampu mereduksi limpasan 32–35%. - Modifikasi saluran di Jl. Panglima Polim, Dr. Sutomo, dan Diponegoro (lebar 1,6 m). 3. Total biaya penanganan sebesar Rp 12,95 miliar. 4. Sistem konservatif ini mampu mengurangi genangan dan mempercepat aliran air hujan ke badan air utama.	1. Belum diterapkan simulasi jangka panjang untuk memprediksi efektivitas sistem dalam kondisi curah hujan ekstrem tahunan. 2. Belum mempertimbangkan pemeliharaan jangka panjang dan efisiensi biaya. 3. Tidak dianalisis pengaruh sosial dan partisipasi masyarakat dalam implementasi sistem drainase berbasis konservasi. 4. Perlu riset lanjutan dengan integrasi teknologi IoT dan sistem pemantauan debit real-time.

Prototype Kontrol Tekanan Air Menggunakan Sensor Pressure Transducer untuk Kerja Pompa Air Berbasis ESP 32 Arif Agung Ridowi, Royb Fatkhur Rizal, dan Fajar Yumono – Jurnal Zetroom, Vol. 05 No. 01, 2023	1. Sistem pompa air pada bangunan bertingkat belum memiliki pengaturan tekanan otomatis, menyebabkan debit air tidak merata antar lantai. 2. Diperlukan sistem kontrol otomatis yang dapat menyesuaikan tekanan air agar suplai tetap stabil dan efisien.	1. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D). 2. Tahapan: studi literatur → perancangan → implementasi → pengujian alat → analisis hasil. 3. Sistem terdiri dari ESP 32 UNO sebagai pengendali utama, sensor pressure transducer sebagai detektor tekanan, dua pompa air DC 12V, driver motor BTS7960, dan LCD I2C sebagai penampil tekanan (dalam satuan bar). 4. Pengujian dilakukan pada miniatur gedung bertingkat dengan 10 katup (valve) simulasi tandon tiap lantai.	1. Sistem kontrol tekanan berfungsi otomatis dan stabil: • Pompa 1 aktif saat tekanan < 1 bar. • Pompa 2 aktif saat tekanan > 1 bar. • Keduanya mati otomatis saat tekanan > 2 bar. 2. Sensor pressure transducer menunjukkan pembacaan linier dan akurat hingga 2 bar. 3. LCD berhasil menampilkan tekanan air secara real-time. 4. Sistem mampu menjaga stabilitas tekanan air sesuai kebutuhan.	1. Sistem masih berskala miniatur laboratorium, belum diterapkan pada sistem nyata gedung bertingkat. 2. Belum dilakukan analisis efisiensi daya dan umur pompa akibat pengoperasian otomatis. 3. Sistem belum terintegrasi dengan teknologi IoT untuk pemantauan dan kendali jarak jauh. 4. Perlu penelitian lanjutan terkait stabilitas tekanan jangka panjang dan respon sistem terhadap perubahan beban air.
Kinerja Saluran Drainase terhadap Genangan Air pada Bahu Jalan D.I. Panjaitan Menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo Fathur Rahman Rustan, Erika Aprianti, Ahmad Taufik Abdullah, dan Retno Puspaningtyas – Jurnal Teknik Sipil Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Vol. 22 No. 1, Maret 2020	1. Terjadi genangan air di bahu dan badan jalan D.I. Panjaitan menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo, Kota Kendari. 2. Penyebab utama: kinerja saluran drainase yang kurang baik, kapasitas tampung tidak sesuai, serta sedimentasi, sampah, dan kerusakan saluran.	1. Penelitian menggunakan analisis hidrologi dan hidrolika. 2. Tahapan meliputi: analisis frekuensi dan probabilitas curah hujan menggunakan Distribusi Normal, Log Normal, Log-Pearson III, dan Gumbel. 3. Uji kecocokan menggunakan Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. 4. Penghitungan debit rencana (metode Rasional) dan dimensi saluran trapesium paling ekonomis sesuai SNI 03-3424-1994. 5. Perbandingan kapasitas antara saluran eksisting dan saluran rencana di ruas S1–S5.	1. Hasil analisis menunjukkan saluran S5 memiliki kapasitas tampung tidak aman, karena luas penampang eksisting lebih kecil dari hasil perencanaan. 2. Saluran S1–S4 dinyatakan aman. 3. Faktor penyebab genangan: pola aliran tidak teratur, gorong-gorong tersumbat, sedimentasi, sampah, dan dinding saluran rusak. 4. Solusi: perubahan dimensi saluran, perbaikan gorong-gorong, dan normalisasi saluran secara berkala.	1. Penelitian belum mempertimbangkan pengaruh air limbah domestik dan limpasan non-hujan terhadap kapasitas saluran. 2. Belum dilakukan analisis jangka panjang terhadap performa drainase setelah perbaikan. 3. Tidak ada integrasi dengan teknologi monitoring atau sistem pemantauan digital (IoT). 4. Perlu penelitian lanjutan mengenai efisiensi biaya normalisasi dan partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan drainase.

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 16 Kerangka Pemikiran

Tahapan penelitian ini diawali dengan identifikasi dan penelitian terhadap permasalahan di lapangan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi yang menjadi fokus kajian. Selanjutnya dilakukan studi literatur dengan menelaah teori-teori, penelitian terdahulu, serta sumber pustaka yang relevan sebagai dasar konseptual dalam pengembangan alat. Berdasarkan hasil kajian tersebut, dilakukan penerapan ide serta perumusan konsep alat yang sesuai dengan kebutuhan dan permasalahan yang ditemukan. Tahap berikutnya adalah perakitan alat dan pengujian untuk memastikan rancangan yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Tahap akhir adalah evaluasi hasil, yaitu menganalisis kinerja alat berdasarkan data uji coba, mengidentifikasi kelebihan maupun keterbatasan, serta memberikan rekomendasi perbaikan untuk pengembangan lebih lanjut.