

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Penelitian yang Relevan

Mengenai prototipe monitoring debu dan suhu yang dibahas di jurnal-jurnal baik itu dari Indonesia maupun dari luar negeri, sudah cukup banyak dibahas. Salah satu contohnya dengan judul “Sistem Pemantauan Debu Cerdas Berbasis IoT” dengan metode *Deep learning* (DL) *long short-term memory* (LSTM) berbasis regresi sebagai solusi menambahkan akurasi prediksi dan monitoring (Hassan, A. Y., & Saleh, M. H., 2024)

Kedua, yaitu dengan judul “Monitoring Debu Cerdas Terintegrasi dan Sistem Prediksi di Lokasi Tambang Menggunakan IoT dan Teknik Kecerdasan Buatan yang menggunakan model prediksi dan monitoring dengan temuan studi bahwa konsentrasi polutan 1.0 di tempat permukaan tanah pertambangan dengan level maksimal (28.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 27.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 26.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan 27.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) terdapat juga di material yang kering dengan menggunakan 4 model *machine learning* seperti *Decision Tree* (DT), *Gradient Boosting Regression* (GBR), *Random Forest* (RF), dan *Linear Regression* (LR) (Tripathi, A. K., et al., 2024).

Ketiga, yang berjudul Kecerdasan Buatan-Basis Pendeteksi Debu pada Panel Surya : Sebuah Solusi Pengeluaran Rendah Berkelanjutan Untuk Menambah Pembangkit Tenaga Surya yang bertujuan efisiensi waktu pengerjaan dalam membersihkan debu dipanel surya dengan menggunakan metode *20 deep learning* untuk mengklasifikasikan mana yang hanya perlu dibersihkan yang mana menghasilkan kesimpulan bahwa mendapatkan nilai 86.79% untuk klasifikasi maksimal dengan model DenseNet169 (Alatwi, A. M., et al., 2024)

Keempat, yang berjudul “*Indoor Air Quality with Dust and Light Sensor Based Fuzzy Mamdani Methode*” dengan hasil pengujian Fuzzy mamdani sebesar akurasi 97,15%, debu dengan akurasi 94,6% dan cahaya tingkat akurasi sebesar 88% (Kusuma, M. R. W. 2023).

Dan yang kelima, dengan judul *The Pollution Air Detection Device Based Internet of Things* (IoT) yang dimana protipe tersebut menggunakan sistem *Internet of Things* (IoT) dan dirancang menggunakan 3 (tiga) sensor utama yaitu DHT 22 sebagai perangkat untuk memonitoring suhu, MQ 135 untuk gas yang membahayakan dan sensor MQ 2 sebagai pendeteksi asap dan gas mudah terbakar (Sukmawati., 2025).

Dari jurnal-jurnal diatas dan hasil kolektif dari sumber yang lain, penulis tetap mencoba mengaplikasikan beberapa sensor yang sama dan mengembangkan dengan mengeliminasi beberapa bagian, peningkatan fleksibilitas dan tepat sasaran sesuai kebutuhan dilapangan (Revifal Anugerah & Tata Sutabri., 2024). Selain penggunaan mikrokontroler utama seperti sensor PMS5003 sebagai pendeteksi debu, sensor DHT 22 untuk mendeteksi suhu, ESP 32 sebagai pengendali prototipe. Penulis mencoba menambahkan fitur seperti sistem *alarm* (Himawan, S. N. H. 2023) yaitu modul lampu indikator LED dan *buzzer* yang akan aktif ketika mencapai batas nominal tidak wajar untuk intensitas debu dan suhu.

2.2 Pengertian Otomati Industri

Otomasi industri adalah penggunaan teknologi untuk mengelola proses produksi dengan sedikit atau bahkan tanpa bantuan manusia. Sistem ini melibatkan perangkat keras, perangkat lunak, dan alat kontrol otomatis yang bekerja bersama untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi kesalahan akibat kesalahan manusia, serta memperbaiki keamanan dalam kerja produksi. Teknologi otomasi terkini mencakup berbagai jenis sistem kontrol seperti DCS dan IoT.

2.2.1 Sejarah Perkembangan Otomasi

Sejarah otomasi dimulai pada awal abad ke-18, ketika mesin uap mulai mengubah proses produksi dengan menggantikan tenaga kerja manusia. Kata "otomasi" pertama kali diperkenalkan oleh Henry Ford pada tahun 1946 untuk menjelaskan penggunaan mesin dalam produksi mobil.

Pada tahun 1960-an, kehadiran *Programmable Logic Controllers* (PLC) dan *Distributed Control Systems* (DCS) membawa perubahan besar dalam bidang otomasi industri. DCS adalah sistem kontrol yang mendistribusikan penghubungan berbagai perangkat guna mengatur dan memantau proses industri dengan lebih efisien. Dengan

adanya DCS, perusahaan dapat mengawasi banyak parameter dan proses secara langsung tanpa memerlukan keterlibatan manusia dalam jumlah besar.

2.2.2 Integrasi dengan *Internet of Things* (IoT)

Saat ini, perkembangan otomasi industri semakin pesat berkat adanya integrasi *Internet of Things* (IoT). IoT membuat perangkat dan sistem industri dapat terhubung dan saling berkomunikasi melalui jaringan internet, sehingga pengawasan dan pengendalian menjadi lebih efisien dan fleksibel.

Dalam hal otomasi, IoT memungkinkan pengumpulan data secara langsung dari berbagai sensor yang terpasang pada mesin atau perangkat lainnya. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mengambil keputusan otomatis yang dapat meningkatkan efisiensi serta mencegah kerusakan peralatan.

2.2.3 Penerapan Otomasi dalam Industri

Sistem otomatisasi, yang mencakup DCS dan IoT, telah banyak digunakan di berbagai bidang industri seperti pembuatan, energi, dan pengolahan bahan kimia. Sebagai contoh, DCS dipakai untuk mengatur proses yang melibatkan banyak parameter dan sistem yang saling terhubung dalam sektor energi, seperti pembangkit listrik dan kilang minyak. Dengan penerapan DCS, pengawasan proses bisa dilakukan secara pusat, sehingga menjamin operasi yang lebih aman dan efisien.

Di sisi lain, IoT menawarkan manfaat untuk pemantauan dari jarak jauh serta analisis data. Dengan memanfaatkan IoT, sistem otomatisasi dapat mengumpulkan informasi operasional dari berbagai mesin dan menganalisisnya untuk meningkatkan kinerja serta mendeteksi masalah sebelum terjadinya kerusakan.

2.3 Sejarah Singkat *Distributed Control System* (DCS)

DCS diperkenalkan pada tahun 1975 oleh beberapa perusahaan, salah satunya adalah Yokogawa dengan sistem bernama CENTUM. Sistem ini dibuat untuk mengatur proses industri yang rumit dengan membagi tugas kontrol ke dalam berbagai unit yang terpisah, sehingga memungkinkan pengendalian yang lebih fleksibel dan dapat diandalkan dibandingkan dengan sistem kontrol yang terpusat.

2.3.1 Fungsi dan Manfaat DCS

DCS berfungsi untuk memantau dan mengatur proses industri secara otomatis dan tersebar. Beberapa keuntungan utama dari DCS adalah:

1. Tingkat Keandalan yang Tinggi: Dengan desain yang tersebar, masalah pada satu bagian tidak akan mempengaruhi sistem secara keseluruhan.
2. Efisiensi dalam Operasi: Memungkinkan pengendalian proses yang lebih baik serta mengurangi perlunya intervensi manual.
3. Kemudahan Adaptasi: Tidak sulit untuk menyesuaikan sistem ini dengan perubahan proses atau ekspansi.
4. Penggabungan Data: Menghubungkan data dari berbagai sumber untuk analisis dan pengambilan keputusan yang lebih efektif.

2.3.2 Cara Kerja DCS

DCS berfungsi dengan memecah sistem pengendalian menjadi sejumlah unit kontrol lokal yang tersebar di seluruh pabrik. Setiap unit bertanggung jawab atas segmen tertentu dari proses dan saling berkomunikasi dengan sistem pusat melalui jaringan komunikasi. Pengoperasi dapat mengawasi dan mengatur keseluruhan proses melalui *Human Machine Interface* (HMI) yang dimana sebuah sistem yang menghubungkan teknologi mesin dan manusia (Hajar, I., et al., 2023).

2.4 Sejarah dan Perkembangan CENTUM VP (DCS Yokogawa)

Yokogawa meluncurkan sistem DCS pertamanya, CENTUM, pada tahun 1975. Sejak saat itu, sistem ini telah mengalami banyak perkembangan, dengan CENTUM VP sebagai generasi kesembilan yang menyediakan peningkatan dalam hal keandalan, kecepatan, dan integrasi sistem.

2.4.1 Cara Kerja CENTUM VP

CENTUM VP memanfaatkan *Field Control System* (FCS) untuk mengatur proses di lokasi. FCS terhubung dengan beragam perangkat lapangan menggunakan modul input/output (I/O) dan berkomunikasi dengan *Human Interface Machine* (HIS) yang menawarkan platform pengguna untuk pemantauan dan pengendalian. Sistem ini dirancang agar operasi berlangsung dengan stabil dan proses tetap berkelanjutan.

2.4.2 Fitur Unggulan CENTUM VP

Beberapa fitur yang ditawarkan antara lain :

1. Tingkat Keandalan yang Tinggi: Menyediakan sistem yang selalu siap pakai dan menjamin kelangsungan operasi.
2. Penggabungan Sistem: Memungkinkan keterhubungan dengan sistem lain seperti SCADA dan PLC untuk pengendalian yang lebih menyeluruh.
3. Antarmuka Pengguna yang Mudah Dipahami: HIS menawarkan tampilan grafis yang simpel untuk peninjauan dan pengendalian proses.
4. Kemampuan untuk Berkembang: Dapat dengan cepat disesuaikan untuk memenuhi pertumbuhan atau perubahan dalam proses industri.

2.5 Standar Intensitas Debu (PM2.5 dan PM10) dan Suhu pada DCS Yokogawa

Dalam dokumen resmi Yokogawa, batas maksimum konsentrasi debu untuk ruang yang menyimpan sistem *Distributed Control System* (DCS) seperti FCN-500 dan FCN-RTU adalah sebagai berikut: **"Tingkat debu dalam ruangan tidak boleh melebihi 0,3 mg/m³ atau 300µg/m³, sedangkan suhu diluar panel harus dibawah 40 derajat Celsius (CENTUM VP Installation Guidance., 2020).** " Namun, dokumen tersebut tidak menjelaskan ukuran partikel dalam mikrometer (µm) atau jumlah partikel per meter kubik (partikel/m³). Standar ini lebih fokus pada total massa debu di udara, bukan jumlah atau ukuran partikel.

2.5.1 Dampak Debu pada Peralatan DCS

Konsentrasi debu yang tinggi dapat mengakibatkan:

1. Kerusakan Peralatan: Partikel debu bisa masuk ke dalam alat elektronik, mengakibatkan korosi atau gangguan fungsi.
2. *Overheating*: Debu dapat menghalangi sirkulasi udara, yang menyebabkan suhu alat meningkat.
3. Gangguan Operasional: Penumpukan debu dapat berujung pada kegagalan sistem atau menurunnya kinerja.

2.6 Pengertian Rack Room/Control Room dan Fungsi

Ruang rak (*Rack Room*) merupakan lokasi yang secara khusus dibuat untuk menampung perangkat kontrol dan komunikasi dalam sistem DCS, seperti kabinet sistem, kabinet *marshalling*, *server*, serta perangkat jaringan. Tugas utama dari ruang rak meliputi:

1. Melindungi Peralatan: Mengamankan peralatan dari debu, kelembapan, dan gangguan fisik.
2. Mengelola Kabel: Memastikan kabel teratur dan tertata, sehingga memudahkan dalam pemeliharaan dan perbaikan.
3. Pendinginan: Menyediakan sistem untuk menjaga suhu peralatan agar tetap optimal dan mencegah terjadinya *overheating*.
4. Keamanan: Mengontrol akses ke peralatan vital, menjaga dari akses yang tidak berwenang.
5. Pemantauan dan Kontrol: Memungkinkan pengawasan terhadap kondisi lingkungan dan kinerja alat secara langsung (ASHRAE., 2025)

2.6.1 Pertimbangan Desain Rack Room

Desain ruang rak yang efisien memperhatikan beberapa faktor penting:

1. Susunan dan Penempatan: Penataan kabinet serta perangkat harus diatur untuk memudahkan akses dan memastikan sirkulasi udara yang baik.
2. Sistem Pendinginan: Memanfaatkan sistem pendingin yang efektif, seperti pendinginan yang saling terhubung, untuk menjaga suhu perangkat tetap stabil.
3. Pengendalian Kelembapan dan Debu: Mengimplementasikan penyaring udara dan sistem pengendalian kelembapan untuk menjaga kualitas udara tetap baik.
4. Cadangan Energi: Menggunakan Sumber Daya Tak Terputus (UPS) dan generator cadangan untuk memastikan kelangsungan pasokan daya.
5. Pengawasan Keamanan: Menerapkan sistem pemantauan untuk mengidentifikasi gangguan atau akses yang tidak diizinkan.

2.7 Pengertian Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah komputer kecil yang terintegrasi dalam satu chip IC (*Integrated Circuit*). Chip ini mengandung CPU (*Central Processing Unit*),

RAM (*Random Access Memory*), ROM (*Read-Only Memory*), dan juga *port input/output* (I/O) yang memfasilitasi mikrokontroler untuk melaksanakan program tertentu dan berkomunikasi dengan perangkat lainnya.

2.7.1 Fungsi dan Mafaat Mikrokontroler

Mikrokontroler berperan sebagai pengendali utama dalam sistem elektronik yang mengoperasikan berbagai alat otomatis. Beberapa keuntungan utamanya meliputi

1. Pengaturan Otomatis: Mengelola perangkat seperti mesin industri, alat rumah tangga, dan kendaraan.
2. Penghematan Energi: Mengoptimalkan penggunaan energi dalam sistem elektronik.
3. Desain Ringkas dan Biaya Rendah: Dengan ukuran yang kompak, mikrokontroler memungkinkan pembuatan perangkat yang lebih kecil dan biaya produksi yang lebih efisien.

2.7.2 Cara Kerja Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi dengan mengeksekusi perangkat lunak yang tersimpan di dalam memori ROM. Perangkat lunak ini mengatur cara mikrokontroler berinteraksi dengan data dari lingkungan (melalui sensor) dan menciptakan keluaran (melalui aktuator atau perangkat lainnya). Proses ini berjalan tanpa henti selama mikrokontroler menerima sumber daya listrik.

2.8 Prinsip Kerja ESP 32 (Espressif System)

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang dibuat oleh *Espressif Systems*, ditujukan untuk penggunaan dalam *Internet of Things* (IoT). ESP32 memiliki kemampuan untuk terkoneksi dengan jaringan *Wi-Fi* dan *Bluetooth*, yang memungkinkan komunikasi tanpa kabel dengan perangkat lain. Cara kerjanya serupa dengan mikrokontroler lainnya, tetapi dilengkapi dengan modul komunikasi nirkabel yang sudah terintegrasi.

2.8.1 Spesifikasi Detail ESP 32

Adapun spesifikasi detail, yaitu :

- a) Prosesor: Tersedia dalam varian *dual-core* atau *single-core Tensilica Xtensa LX6*, dengan kecepatan maksimal 240 MHz.

- b) Memori: 520 KB SRAM, serta pilihan memori *flash* yang bisa mencapai 16 MB.
- c) Konektivitas: *Wi-Fi* 802. 11 b/g/n dan *Bluetooth* versi 4. 2.
- d) GPIO: Lebih dari 30 pin yang bisa diprogram untuk input/output.
- e) Fitur Tambahan: Terdapat ADC, DAC, SPI, I2C, UART, PWM, dan sensor suhu yang ada di dalam.



Gambar 2. 1 ESP32

Kelebihan

1. Konektivitas Nirkabel Terintegrasi: Mempermudah proses pengembangan perangkat IoT tanpa perlu menambahkan modul lainnya.
2. Kinerja Tinggi: ESP32, yang dilengkapi prosesor *dual-core* dengan kecepatan tinggi, mampu menjalankan tugas-tugas yang rumit.
3. Hemat Energi: Dikenal dengan mode tidur yang efisien, sangat cocok untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi daya rendah.
4. Kompatibilitas: Mendukung berbagai platform pengembangan, termasuk Arduino IDE dan *MicroPython*.

Kekurangan

1. Kompleksitas: Dengan banyaknya fitur yang ada, pemula mungkin mengalami kurva pembelajaran yang lebih curam dibandingkan dengan mikrokontroler yang lebih sederhana seperti Arduino Uno.
2. Konsumsi Daya: Meskipun memiliki fungsi hemat energi, penggunaan daya ESP32 masih lebih tinggi dibandingkan mikrokontroler yang lebih *basic* saat dalam keadaan aktif.

2.9 Pengertian Sensor dalam Konteks Mikrokontroler

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mengamati perubahan dalam fisik atau lingkungan dan mengonversinya menjadi sinyal listrik yang dapat dipahami oleh mikrokontroler. Dalam sistem yang bergantung pada mikrokontroler, sensor berfungsi sebagai perangkat untuk mengumpulkan informasi dari sekitarnya, seperti suhu, kelembapan, cahaya, pergerakan, dan lain-lain.

2.9.1 Fungsi dan Manfaat Sensor

Berikut beberapa fungsi yang ditawarkan, yaitu :

Fungsi:

1. Mengkonversi ukuran fisik menjadi sinyal elektrik.
2. Menyediakan informasi secara langsung kepada mikrokontroler untuk pengambilan keputusan.

Manfaat:

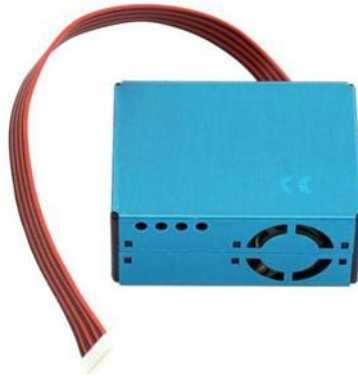
1. Memungkinkan pengoperasian otomatis sistem berdasarkan keadaan lingkungan.
2. Meningkatkan efektivitas dan ketepatan dalam pengumpulan informasi.
3. Mempermudah pengembangan sistem yang cerdas dan responsif.

2.9.2 Cara Kerja Sensor

Sensor beroperasi dengan mendeteksi variasi dalam ukuran fisik tertentu dan menghasilkan sinyal elektrik yang sebanding. Sinyal tersebut kemudian diterima oleh mikrokontroler melalui pin input *analog* atau *digital*. Mikrokontroler kemudian memproses data berdasarkan program yang telah ditetapkan, memungkinkan sistem untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan secara otomatis.

2.10 Sensor Debu PMS5003

Sensor debu PMS5003 merupakan alat digital yang dibuat untuk mengukur jumlah partikel di udara dengan berbagai ukuran, seperti PM1. 0, PM2. 5, dan PM10 (Nguyen, N. H., et al., 2021). Sensor ini memanfaatkan metode penyebaran cahaya laser untuk mengenali partikel kecil di atmosfer dan menghasilkan data secara digital melalui sambungan UART. PMS5003 banyak dimanfaatkan dalam alat pemantau kualitas udara, baik untuk penggunaan di dalam maupun di luar ruangan.



Gambar 2. 2 Sensor PMS5003

2.10.1 Prinsip Kerja Sensor PMS5003

Sensor PMS5003 beroperasi berdasarkan metode penyebaran cahaya laser. Di dalam alat ini, terdapat sumber cahaya laser yang memancarkan cahaya ke udara yang masuk melalui kipas kecil yang ada di dalamnya. Saat partikel udara melewati cahaya laser, cahaya itu akan tersebar dan ditangkap oleh fotodetektor. Informasi tentang penyebaran cahaya tersebut kemudian diolah oleh mikrokontroler dalam sensor dengan menggunakan teori Mie untuk menghitung jumlah dan ukuran partikel dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.10.2 Spesifikasi Teknis Sensor PMS5003

Berikut adalah spesifikasi teknis dari sensor PMS5003:

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor PMS5003

Spesifikasi	Detail
Model	PMS5003
Tegangan Operasi	4.5V – 5.5V DC
Arus Operasi	< 100 mA (aktif), < 200 μA (siaga)
Ukuran Partikel Terdeteksi	$\geq 0.3 \mu\text{m}$
Resolusi	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Rentang Konsentrasi	0 – 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM1.0, PM2.5, PM10

Antarmuka Komunikasi	UART (3.3V TTL)
Kecepatan Baud	9600 bps
Waktu Respons	< 10 detik
Suhu Operasi	-10°C hingga 60°C
Kelembapan Operasi	0 – 99% RH (tanpa kondensasi)
Dimensi	50 mm × 38 mm × 21 mm
Berat	Sekitar 30 gram
Output Data	Konsentrasi PM1.0, PM2.5, PM10; jumlah partikel per 0.1L udara untuk ukuran >0.3µm, >0.5µm, >1.0µm, >2.5µm, >5.0µm, >10µm

2.10.3 Kelebihan dan Kekurangan Sensor PMS5003

Selain spesifikasi yang cukup baik, berikut kelebihan dan kekurangannya :

Kelebihan:

1. Akurasi Tinggi: Dapat mendeteksi partikel sekecil 0.3 µm dengan tingkat ketepatan yang baik.
2. Output Digital: Menyediakan informasi dalam format digital yang mudah diolah oleh mikrokontroler.
3. Konsumsi Daya Rendah: Hemat energi, sangat ideal untuk aplikasi yang menggunakan baterai.
4. Kompak dan Ringan: Mudah untuk diintegrasikan ke dalam berbagai alat portabel.

Kekurangan:

1. Sensitivitas terhadap Aliran Udara: Perubahan arah aliran udara dapat memengaruhi tingkat akurasi pengukuran.
2. Keterbatasan Lingkungan Operasi: Tidak sesuai digunakan di lingkungan dengan kelembapan yang sangat tinggi atau mengalami kondensasi.

3. Perlu Kalibrasi Berkala: Untuk memastikan akurasi, sensor perlu dikalibrasi secara teratur.

2.10.4 Aplikasi Penggunaan Sensor PMS5003

Sensor PMS5003 banyak dipakai dalam berbagai jenis aplikasi, antara lain:

1. Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan: Digunakan di tempat tinggal, kantor, dan sekolah untuk mendeteksi polusi udara.
2. Stasiun Pemantauan Udara Portabel: Dipakai oleh individu atau kelompok untuk mengawasi kualitas udara di sekitar mereka.
3. Sistem HVAC Pintar: Untuk mengatur sistem ventilasi berdasarkan kualitas udara yang terdeteksi.
4. Perangkat IoT: Terintegrasi dalam alat *Internet of Things* untuk pemantauan lingkungan secara langsung.

2.11 Pengertian Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor untuk mengukur suhu dan kelembapan merupakan alat elektronik yang berfungsi untuk menentukan suhu serta tingkat kelembapan relatif di sekitar. Informasi yang diperoleh dari alat ini sangat berharga dalam berbagai bidang, seperti sistem pemanas dan pendingin udara, stasiun meteorologi, pertanian, dan otomatisasi rumah.

2.11.1 Fungsi dan Manfaat Sensor Kelembapan

Berikut beberapa fungsi dan manfaat yang ditawarkan :

Fungsi

1. Pengukuran Suhu: Menilai suhu lingkungan dalam derajat *Celsius* atau *Fahrenheit*.
2. Pengukuran Kelembapan: Mengukur kelembapan relatif udara dalam persen (%RH).
3. Pemantauan Lingkungan: Menyediakan data secara langsung untuk memantau kondisi lingkungan.

Manfaat

1. Efisiensi Energi: Membantu dalam mengatur sistem pendingin atau pemanas agar lebih hemat energi.

2. Kesehatan dan Kenyamanan: Menjaga lingkungan agar tetap nyaman dan sehat.
3. Perlindungan Peralatan: Mencegah kerusakan peralatan akibat suhu atau kelembapan yang berlebihan.

2.12 Sensor DHT22

DHT22, yang juga dikenal sebagai AM2302, adalah sensor digital yang dengan tepat mengukur suhu dan kelembapan. Alat ini mengandalkan elemen kelembapan kapasitif dan termistor untuk melakukan pengukuran, serta memiliki *chip* yang berfungsi untuk mengubah sinyal dari analog menjadi digital.

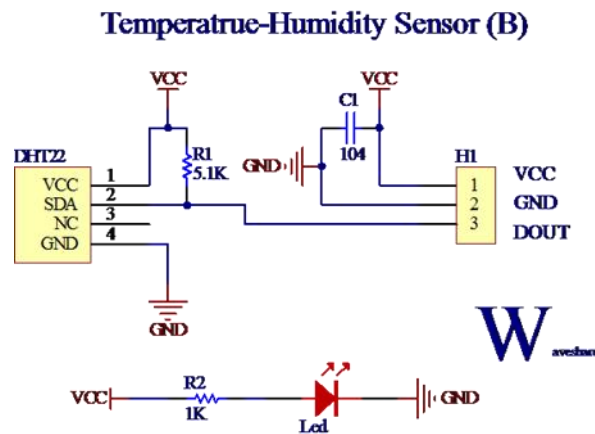


Gambar 2. 3 Sensor DHT22

2.12.1 Prinsip Kerja Sensor DHT22

Sensor DHT22 beroperasi dengan cara berikut:

1. Pengukuran Kelembapan: Menggunakan elemen kelembapan kapasitif yang merubah kapasitansi sesuai dengan tingkat kelembapan udara.
2. Pengukuran Suhu: Memanfaatkan termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) yang resistansinya berubah sejalan dengan suhu.
3. Konversi Data: *Chip* yang ada di dalam sensor mengubah sinyal analog dari sensor menjadi data digital.
4. Transmisi Data: Data digital yang dihasilkan dikirimkan melalui satu jalur data (*single-wire*) ke mikrokontroler.



Gambar 2. 4 Rangkaian Sensor DHT22

2.12.2 Kelebihan dan Kekurangan Sensor DHT22

Adapun kelebihan dan kekurangan yaitu :

Kelebihan

1. Akurasi Tinggi: Suhu akurat dalam $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan $\pm 2\%$ RH.
2. Rentang Pengukuran Luas: Suhu dapat dicatat dari -40°C hingga 80°C ; kelembapan dari 0% hingga 100% RH.
3. Antarmuka Digital: Memudahkan integrasi dengan mikrokontroler melalui jalur data tunggal.
4. Stabilitas Jangka Panjang: Akurasi hanya sedikit berubah seiring waktu.

Kekurangan

1. Frekuensi Sampling Rendah: Hanya 0,5Hz, dengan satu pembacaan setiap dua detik.
2. Ukuran Lebih Besar: Jika dibandingkan dengan sensor lain seperti DHT11.
3. Harga Lebih Mahal: Sedikit lebih tinggi dibanding DHT11.

2.12.3 Aplikasi Umum Sensor DHT22

Secara umum, sensor DHT22 diaplikasikan pada :

1. Stasiun Cuaca: Untuk mengukur suhu dan kelembapan di lingkungan.
2. Otomasi Rumah: Mengatur sistem *HVAC* berdasarkan kondisi lingkungan yang ada.
3. Pertanian: Mengawasi keadaan di rumah kaca atau lahan pertanian.

4. Industri: Menjamin kondisi lingkungan yang ideal untuk proses produksi.

2.13 Modul *Driver Motor*

Modul pengendali motor adalah rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai jembatan antara mikrokontroler dan motor listrik. Modul ini memungkinkan mikrokontroler yang memiliki kapasitas daya rendah untuk mengoperasikan motor yang memerlukan arus dan tegangan yang lebih tinggi.

2.13.1 Fungsi dan Manfaat Modul *Driver Motor*

1. Pengaturan Arah dan Kecepatan: Mengelola arah rotasi dan kecepatan motor melalui sinyal dari mikrokontroler.
2. Isolasi Daya: Menjaga mikrokontroler agar terlindungi dari arus balik atau lonjakan tegangan yang berasal dari motor.
3. Penguatan Sinyal: Meningkatkan sinyal kontrol dari mikrokontroler untuk dapat menggerakkan motor dengan arus dan tegangan yang sesuai.

2.13.2 Cara Kerja Modul *Driver Motor*

Modul pengendali motor menerima sinyal kontrol dari mikrokontroler, misalnya sinyal PWM (Modulasi Lebar Pulsa), untuk mengatur kecepatan serta arah motor. Modul ini biasanya menggunakan konfigurasi *H-Bridge* agar bisa mengendalikan arah rotasi motor. Dengan mengatur kombinasi sinyal yang masuk, modul dapat mengubah arah arus yang mengalir melalui motor, sehingga mengubah arah putarannya.

2.14 *Cytron MD10C*

Modul Cytron MD10C merupakan *driver* motor DC satu saluran yang dirancang untuk mengontrol motor *DC brushed* dengan arus tinggi. Modul ini mampu menangani arus kontinu hingga 13A dan arus maksimum hingga 30A, serta beroperasi pada rentang tegangan dari 5V hingga 30V DC. MD10C dapat bekerja dengan berbagai jenis mikrokontroler, termasuk Arduino dan Raspberry Pi.

2.14.1 Spesifikasi Teknis *Cytron MD10C*

Beberapa spesifikasi yang ditawarkan yaitu :

- a) Tegangan untuk Motor: 5V – 30V DC

- b) Arus Maksimum: 13A untuk kondisi terus menerus, 30A untuk arus puncak selama 10 detik
- c) Input Logika: 3. 3V dan 5V
- d) Frekuensi PWM: maksimumnya 20kHz
- e) Ukuran: 75mm x 43mm

Fitur Tambahan:

- 1. Kontrol dua arah untuk satu motor *DC brushed*
- 2. Komponen solid-state yang memungkinkan respons cepat
- 3. Desain *H-Bridge* NMOS yang optimal untuk efisiensi tinggi
- 4. Tanpa perlu *heatsink*
- 5. Mendukung sinyal PWM *locked-antiphase* dan *sign-magnitude*

2.14.2 Prinsip Kerja Cytron MD10C

MD10C memanfaatkan konfigurasi *H-Bridge* NMOS untuk mengontrol kecepatan dan arah motor. Dengan memberikan sinyal PWM ke input kontrol, pengguna dapat mengatur kecepatan motor. Arah rotasi motor ditentukan berdasarkan kombinasi sinyal pada pin input. Modul ini juga mendukung metode kontrol *locked-antiphase* dan *sign-magnitude*, memberikan fleksibilitas dalam pengendalian motor (Cytron Marketplace., 2025)

Kelebihan :

- 1. Kapasitas Arus Tinggi: Dapat mengendalikan motor dengan arus besar tanpa perlu heatsink tambahan.
- 2. Kompatibilitas Luas: Bisa digunakan dengan mikrokontroler yang beroperasi pada 3. 3V dan 5V.
- 3. Desain *Solid-State*: Mengurangi keausan mekanis dan meningkatkan keandalan.
- 4. Fleksibilitas Kontrol: Mendukung berbagai cara kontrol PWM.

Kekurangan :

- 1. Tidak Ada Perlindungan Terhadap Polaritas Terbalik: Pengguna harus ekstra hati-hati saat memasang tegangan untuk mencegah kerusakan.

2. Satu Saluran: Hanya dapat digunakan untuk mengendalikan satu motor *DC brushed*.



Gambar 2. 5 MD10C

2.15 DC Fan 12 Volt (Inlet)

DC Fan 12 Volt merupakan jenis kipas listrik yang berfungsi menggunakan energi listrik searah dengan tegangan sebesar 12 volt. Kipas ini berperan utama untuk mengalirkan udara (inlet) ke dalam sistem atau area tertentu, seperti casing komputer, panel kontrol, atau perangkat elektronik lainnya, untuk menjaga suhu pada tingkat yang stabil dan menghindari terjadinya *overheating*.

2.15.1 Fungsi dan Manfaat *DC Fan*

Berikut Fungsi dan Manfaat dari *DC Fan* :

Fungsi :

1. Pendinginan Komponen Elektronik: Mengambil udara dingin dari lingkungan sekitar untuk mendinginkan bagian dalam perangkat.
2. Sirkulasi Udara: Memfasilitasi sirkulasi udara dalam sistem tertutup, memastikan udara panas terbuang dan diganti dengan udara baru.
3. Pengendalian Suhu: Menjaga suhu operasional perangkat tetap aman, sehingga meningkatkan efisiensi dan memperpanjang umur komponen.

Manfaat :

1. Efisiensi Energi: Pada umumnya, *DC Fan* lebih hemat energi dibandingkan dengan kipas AC, sehingga mengurangi total penggunaan daya.

2. Operasi Senyap: Desain yang efisien memungkinkan kipas berjalan dengan suara minimal, ideal untuk tempat yang membutuhkan suasana tenang.
3. Ukuran Kompak: Desain kecil memungkinkan pemasangan pada ruang yang terbatas tanpa mengorbankan kinerja.

2.15.2 Prinsip Kerja *DC Fan*

DC Fan beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika arus searah (DC) diterapkan, listrik mengalir melalui gulungan dalam motor, menghasilkan medan magnet. Interaksi antara medan magnet dan magnet permanen di dalam motor menghasilkan torsi yang memutar baling-baling kipas. Putaran baling-baling ini menciptakan perbedaan tekanan udara, sehingga udara dari sekitar terhisap masuk ke dalam sistem (Heko Electronic (Suzhou) Co., L. 2017).



Gambar 2. 6 DC Fan 12V

2.15.3 Kelebihan dan Kekurangan *DC Fan*

Berikut kelebihan dan Kekruangannya :

Kelebihan

1. Efisiensi Energi Tinggi: *DC Fan* menggunakan hingga 70% lebih sedikit energi daripada kipas AC untuk hasil yang setara.
2. Kontrol Kecepatan yang Mudah: Kecepatan kipas dapat dengan mudah disesuaikan melalui perubahan tegangan atau teknik PWM (*Pulse Width Modulation*).
3. Operasi Senyap: Desain yang efisien menciptakan suara yang minim, ideal untuk aplikasi yang memerlukan ketenangan.
4. Umur Panjang: Dengan penggunaan bantalan berkualitas tinggi, *DC Fan* dapat memiliki masa pakai yang lebih lama.

Kekurangan

1. Sensitif terhadap Tegangan: Variasi tegangan dapat memengaruhi kinerja kipas secara drastis.
2. Biaya Awal Lebih Tinggi: Harga awal *DC Fan* cenderung lebih mahal dibandingkan dengan kipas AC.
3. Kompleksitas Kontrol: Membutuhkan rangkaian tambahan untuk mengatur kecepatan dan arah putaran.

2.16 Dust Filter

Dust filter atau penyaring debu adalah komponen tambahan yang dapat ditemukan pada perangkat kipas, terutama pada jenis kipas DC. Fungsinya adalah untuk menyaring partikel debu, serbuk, dan kotoran kecil dari masuk ke dalam sistem ventilasi atau sirkulasi udara. Umumnya, komponen ini dipasang pada bagian inlet kipas untuk mencegah debu mencemari komponen internal dari perangkat elektronik atau area kontrol yang sensitif seperti sistem DCS (*Distributed Control System*).



Gambar 2. 7 Dust Filter

2.16.1 Fungsi Utama *Dust Filter* pada *DC Fan*

Dust filter memiliki beberapa fungsi krusial dalam menjaga kestabilan sistem, yaitu:

1. Penyaringan Debu dan Partikel Halus
2. Menghalangi partikel PM2. 5 dan PM10 yang ada di sekitar agar tidak masuk ke ruang perangkat sensitif.
3. Perlindungan Komponen Elektronik

4. Debu yang menumpuk pada papan sirkuit cetak (PCB) dapat menyebabkan korosi, hubung singkat (*short circuit*), serta menurunkan efisiensi sistem pendinginan.
5. Menjaga Efisiensi Aliran Udara
6. Dengan udara yang bersih, kipas dapat beroperasi secara optimal tanpa adanya hambatan atau beban tambahan yang diakibatkan oleh penumpukan debu pada bilah kipas.
7. Memperpanjang Umur *DC Fan* dan Sistem
8. Filter berperan dalam mencegah kerusakan dini pada motor DC, sumbu kipas, dan bantalan (*bearing*) yang disebabkan oleh kontaminasi dari partikel asing.

2.16.2 Jenis Bahan dan Bentuk *Dust Filter*

Dust filter untuk kipas DC biasanya terbuat dari bahan berikut:

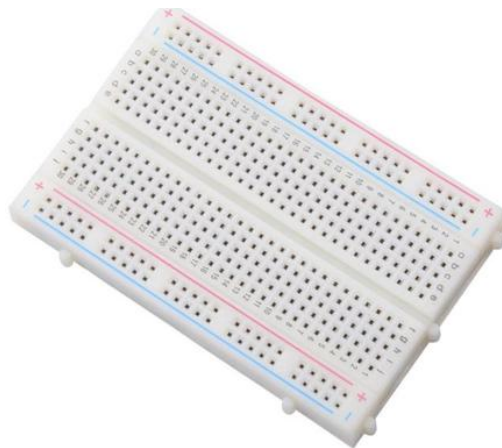
1. Busa Poliuretan (*PU Foam*),
Memiliki daya tahan dan dapat dicuci serta digunakan kembali.
2. Kain *Non-Woven* (serat sintetis),
Biasanya dipakai untuk filter sekali pakai.
3. Logam Berjaring (*Stainless Mesh*),
Digunakan untuk sistem ventilasi industri atau kontrol yang memerlukan filtrasi kasar.
4. Bentuk umum dari filter debu adalah:
5. Kotak datar yang sesuai dengan ukuran kipas
6. Filter berbentuk cincin, untuk kipas sentrifugal kecil atau *blower*,
7. Filter *cartridge* pada sistem pendinginan tertutup.

2.16.3 Pemeliharaan dan Efisiensi

Filter debu perlu dibersihkan secara rutin (setiap 1–2 minggu, tergantung pada kondisi lingkungan) untuk mencegah penurunan aliran udara yang dapat mempengaruhi suhu operasi sistem. Jika dibiarkan kotor, kipas DC akan bekerja lebih keras, sehingga meningkatkan konsumsi energi dan mempercepat kerusakan pada motor.

2.17 *Mini Breadboard 400P*

Mini Breadboard 400P adalah papan *prototyping* elektronik yang memiliki ukuran setengah dari breadboard biasa, dengan total 400 titik koneksi. Alat ini dirancang untuk membantu merakit dan menguji rangkaian elektronik tanpa kebutuhan untuk menyolder komponen, sehingga proses perakitan dan perubahan rangkaian menjadi lebih mudah. Dengan dimensinya yang kecil, *breadboard* ini sangat cocok untuk proyek-proyek kecil, eksperimen, serta pembelajaran di bidang elektronik.



Gambar 2. 8 *Mini Breadboard 400P*

2.17.1 Fungsi dan Manfaat *Mini Breadboard 400P*

Berikut beberapa fungsi dan manfaat yang ditawarkan :

Fungsi :

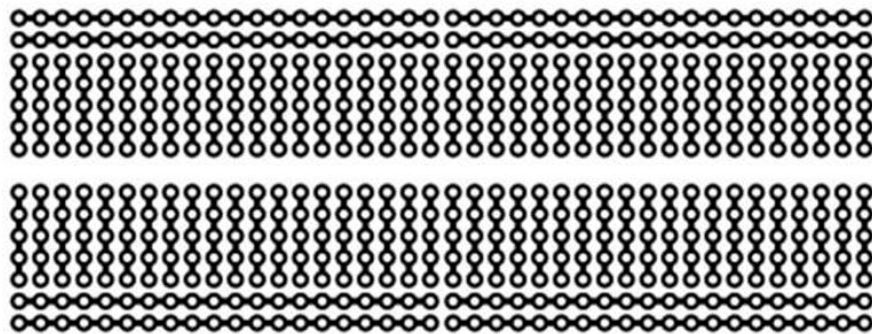
1. Prototyping: Menyediakan dasar untuk merakit dan menguji rangkaian elektronik sebelum membuat versi tetap.
2. Pembelajaran: Dipakai dalam proses pendidikan elektronik untuk memahami cara kerja komponen dan rangkaian.
3. Pengujian Komponen: Memfasilitasi pengujian komponen elektronik secara terpisah atau dalam kombinasi.

Manfaat :

1. Tanpa Penyolderan: Memungkinkan perakitan rangkaian tanpa menyolder, yang menghemat waktu dan memudahkan modifikasi.
2. Dapat Digunakan Kembali: Bisa dipakai berulang kali untuk berbagai proyek.
3. Portabilitas: Ukurannya yang kecil membuatnya mudah dibawa dan digunakan di berbagai tempat.

2.17.2 Prinsip Kerja *Mini Breadboard* 400P

Mini Breadboard 400P terdiri dari lubang-lubang kecil yang saling terhubung secara internal melalui jalur konduktif. Lubang ini tersusun dalam baris dan kolom, sehingga komponen elektronik dan kabel jumper bisa dipasang dan dihubungkan tanpa menyolder. Umumnya, baris horizontal berfungsi sebagai jalur daya (positif dan negatif), sementara kolom vertikal digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen. Prinsip kerja ini memungkinkan arus listrik mengalir melalui koneksi internal, mengaktifkan rangkaian yang dibuat di atasnya (adafruit., 2023).



Gambar 2. 9 Rangkaian *Mini Breadboard* 400P

2.18 Kabel *Jack Male & Female*

Kabel listrik merupakan komponen untuk menyalurkan listrik ke sumber-sumber beban listrik (Widyastuti, C., et al., 2020). Begitu juga dengan kabel jack DC berfungsi untuk menghubungkan sumber tenaga listrik DC (arus searah) dari adaptor atau penyuplai listrik ke perangkat elektronik. Terdapat dua tipe:

1. Jack DC *Male*: Memiliki pin logam berbentuk silinder yang menonjol.
2. Jack DC *Female*: Memiliki lubang berbentuk silinder untuk menerima pin *male*.



Gambar 2. 10 Kabel Jack *Male & Female*

2.18.1 Fungsi Kabel Jack *Male & Female*

Terdapat fungsi dari masing-masing jenis kabel, antara lain :

1. Dapat Digunakan Kembali: Bisa dipakai berulang kali untuk berbagai proyek.
2. Portabilitas: Ukurannya yang kecil membuatnya mudah dibawa dan digunakan

2.19 Kabel Jumper *Male & Female*

Kabel jumper merupakan jenis kabel kecil yang dilengkapi dengan konektor di kedua ujungnya, berfungsi untuk menghubungkan komponen elektronik di *breadboard* atau modul dengan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32.

2.19.1 Jenis dan Fungsi Kabel Jumper *Male & Female*

Adapun jenis-jenis dan Fungsi, antara lain :

1. *Male to Male* (M-M): Digunakan untuk menghubungkan dua soket female, contohnya antara breadboard dan Arduino.
2. *Male to Female* (M-F): Berfungsi untuk menghubungkan pin male dari modul ke soket *female* di breadboard atau sebaliknya.
3. *Female to Female* (F-F): Berfungsi untuk menghubungkan dua pin *male*, contohnya antara dua modul sensor.



Gambar 2. 11 Kabel Jumper

2.20 LCD *Display* 20x4

LCD 20x4 adalah modul *Liquid Crystal Display* yang mampu menampilkan 20 karakter per baris, sebanyak 4 baris. Modul ini termasuk jenis LCD karakter yang menggunakan controller HD44780 atau kompatibel, sehingga mudah dihubungkan ke mikrokontroler seperti Arduino, ESP8266 / ESP32, STM32, Raspberry Pi

Alat ini adalah komponen keluaran yang berfungsi untuk menunjukkan informasi berbentuk teks seperti suhu, kelembaban, kondisi sistem, nilai dari sensor, dan lain-lain (Sapi'i, M. N., & Sitohang, S. 2025).



Gambar 2. 12 LCD 20x4

2.20.1 Fungsi LCD *Display* 20x4

LCD 20x4 memiliki berbagai fungsi, antara lain:

1. Menampilkan Informasi Teks

Menampilkan 20 karakter $\times$ 4 baris, seperti: Data sensor, status sistem, menu navigasi, pesan peringatan/alarm

2. Monitoring Instrumentasi

Dipakai pada: Sistem monitoring listrik, sensor suhu, kelembapan, debu, power meter, IoT display

3. *Interface* Pengguna

Dapat digunakan untuk: Sistem menu, *display* konfigurasi, pengaturan parameter

4. Notifikasi Visual

Untuk menunjukkan: Error, proses berjalan, status koneksi *WiFi*

2.20.2 Spesifikasi LCD *Display* 20x4

Berikut spesifikasi lengkap LCD 20x4 (HD44780-based):

Tabel 2. 2 Spesifikasi LCD *Display* 20x4

Parameter	Nilai / Keterangan
Tipe <i>Display</i>	Character LCD
Ukuran Karakter	5 $\times$ 8 dot matrix
Jumlah Karakter	20 kolom $\times$ 4 baris = 80 karakter
<i>Controller</i>	Hitachi HD44780 / kompatibel
Tegangan Operasi	4.7V – 5.3V DC
Arus <i>Backlight</i>	$\pm$ 25–30 mA
Warna <i>Backlight</i>	Hijau, biru, kuning (tergantung modul)
<i>Interface</i> Data	4-bit atau 8-bit parallel (default)
Jika memakai modul I2C	Address umumnya: 0x27 atau 0x3F
<i>Operating Temperature</i>	-20°C hingga +70°C
Pin	16 pin (tanpa I2C), 4 pin (dengan modul I2C)
Adjust Kontras	Pin V0 memakai potensiometer 10k Ω
Dimensi Fisik	$\pm$ 98 $\times$ 60 $\times$ 12 mm
Area Tampilan	$\pm$ 72 $\times$ 26 mm

2.21 Adaptor DC

Adaptor DC adalah alat elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik (AC) dari sumber energi utama menjadi arus searah (DC) dengan nilai tegangan dan arus tertentu. Alat ini sering digunakan untuk memberikan daya pada berbagai perangkat elektronik yang memerlukan sumber daya DC, seperti *router*, kamera CCTV, dan alat-alat di laboratorium.



Gambar 2. 13 Adaptor 12V 5A

2.21.1 Fungsi dan Manfaat Adaptor DC

Berikut beberapa fungsi dan manfaat dari adaptor DC :

Fungsi :

1. Konversi Energi: Mentransformasikan tegangan AC dari jaringan listrik menjadi tegangan DC yang stabil sesuai dengan kebutuhan perangkat.
2. Stabilisasi Tegangan: Memastikan tegangan keluaran tetap konstan meskipun terdapat fluktuasi pada bagian input.
3. Perlindungan Perangkat: Menjaga perangkat elektronik agar tidak terkena lonjakan tegangan dan arus yang melebihi batas.

Manfaat :

1. Efisiensi Energi: Mengurangi konsumsi energi dengan memberikan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan perangkat.

2. Keamanan: Mengurangi kemungkinan kerusakan perangkat akibat tegangan yang tidak stabil.
3. Portabilitas: Memungkinkan perangkat elektronik untuk digunakan di berbagai tempat dengan sumber daya listrik yang berbeda.

2.21.2 Prinsip Kerja Adaptor 12V 5A

Adaptor 12V 5A biasanya memanfaatkan teknologi *Switching Mode Power Supply* (SMPS), yang berfungsi dengan prinsip sebagai berikut:

1. Penyerahan: Mengubah tegangan AC dari sumber listrik menjadi DC melalui proses penyearahan gelombang penuh.
2. Penyaringan: Tegangan DC yang masih tidak stabil kemudian disaring menggunakan kapasitor untuk mengurangi fluktuasi.
3. Konversi Frekuensi: Tegangan DC diubah kembali menjadi sinyal AC dengan frekuensi tinggi menggunakan transistor switching.
4. Transformasi Tegangan: Sinyal AC frekuensi tinggi tersebut diturunkan tegangannya melalui transformator.
5. Penyearahan dan Penyaringan: Tegangan AC yang dihasilkan dari transformator disearahkan dan disaring lagi hingga menjadi DC yang stabil.
6. Regulasi Tegangan: Sistem umpan balik diterapkan untuk menjaga agar tegangan keluaran tetap pada 12V meskipun terjadi perubahan pada beban.

2.22 Modul Lampu Indikator

Modul RGB *LED* adalah modul elektronik yang berisi satu LED RGB (*Red–Green–Blue*) yang dapat menghasilkan berbagai warna cahaya dengan mengatur intensitas ketiga warna dasar tersebut. Modul ini biasanya memiliki empat pin utama:

1. R (*Red*)
2. G (*Green*)
3. B (*Blue*)
4. GND (*Ground*)

LED RGB yang digunakan bisa berjenis:

1. *Common Cathode* (CC) → titik ground bersama.
2. *Common Anode* (CA) → titik VCC bersama.



Gambar 2. 14 Modul Lampu Indikator

2.22.1 Prinsip Kerja Modul Lampu Indikator

Modul RGB *LED* bekerja berdasarkan prinsip *Additive Color Mixing*:

1. Cahaya merah, hijau, biru dicampur dengan intensitas berbeda menggunakan PWM.
2. PWM mengatur intensitas cahaya setiap warna (0–255 pada Arduino/ESP).
3. Kombinasi warna menentukan hasil cahaya akhir.

Contoh:

Tabel 2. 3 PWM Modul RGB *LED*

R	G	B	Hasil Warna
255	0	0	Merah
0	255	0	Hijau
0	0	255	Biru
255	255	0	Kuning
255	0	255	Magenta
0	255	255	Cyan
255	255	255	Putih

- a) Pada jenis *common cathode*, logikanya: Semakin besar nilai PWM → semakin terang
- b) Pada *common anode* → kebalikan (nilai kecil = terang)

2.22.2 Spesifikasi Teknis Modul RGB *LED*

Adapun spesifikasi teknik modul RGB *LED* dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Modul RGB *LED*

Parameter	Nilai / Keterangan
Jenis <i>LED</i>	RGB (<i>Red, Green, Blue</i>)
Tipe	<i>Common Cathode</i> (umum pada modul 4 pin)
Tegangan <i>Forward</i> (Vf) <i>Red</i>	1.8V – 2.2V
Tegangan <i>Forward</i> (Vf) <i>Green</i>	3.0V – 3.4V
Tegangan <i>Forward</i> (Vf) <i>Blue</i>	3.0V – 3.4V
Arus <i>Forward</i> (If)	20 mA (maks tiap warna)
Pin	R, G, B, GND
Kontrol	PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)
Kompatibilitas	Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi
<i>Power Supply modul</i>	3.3V – 5V (berdasarkan mikrokontroler)
PCB	Mini board dengan resistor SMD (R1, R2, R3)

2.22.3 Kelebihan dan Kekurangan Modul RGB *LED*

Adapun kelebihan dan kekurangannya antara lain :

Kelebihan

1. Mudah digunakan (hanya 4 pin).
2. Bisa menghasilkan jutaan warna dengan PWM.
3. Ukuran kecil, hemat daya, cocok untuk IoT.
4. Harga murah dan mudah ditemukan.
5. Sudah terdapat resistor SMD, jadi aman untuk pemula.

Kekurangan

1. Brightness terbatas, tidak seterang *LED* RGB high-power.
2. Jika resistor bawaan terlalu kecil, warna bisa tidak seimbang terangnya.
3. Tidak dapat dikontrol secara independen antar *LED* (seperti WS2812).
4. Jika menggunakan pin PWM dari mikrokontroler yang terbatas, perlu konfigurasi tambahan.

2.23 Modul *Buzzer*

Modul *Buzzer* digunakan sebagai tanda peringatan (Darmana, T., et al., 2022). Modul buzzer adalah bentuk yang sudah siap digunakan, dilengkapi dengan rangkaian tambahan seperti resistor, transistor penggerak, dan penyesuai level, sehingga dapat dengan mudah dikendalikan oleh mikrokontroler seperti ESP32. Umumnya, modul ini dilengkapi dengan pin VCC, GND, dan Sinyal (I/O).



Gambar 2. 15 *Buzzer*

2.23.1 Jenis dan Prinsip Kerja Modul *Buzzer*

Secara umum, buzzer dapat dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan komponen yang ada di dalamnya:

1. *Buzzer* Aktif

- a) *Buzzer* jenis ini memiliki rangkaian osilator di dalamnya, sehingga hanya memerlukan tegangan DC yang stabil untuk menghasilkan suara tanpa harus bergantung pada sinyal luar.
- b) Biasanya beroperasi dengan tegangan antara 3,3 V hingga 5 V.
- c) Frekuensi bunyi yang dihasilkan tetap, seperti sekitar 2,5 kHz, sesuai dengan osilator yang ada.

Cara kerjanya secara singkat:

1. Tegangan DC dihubungkan pada modul.
2. Osilator di dalamnya membuat sinyal pulsa secara otomatis.
3. Pulsa tersebut diteruskan ke elemen piezo (piringan piezo) → menyebabkan getaran → mengeluarkan suara.

2. **Buzzer Pasif**

- a) *Buzzer* jenis ini tidak memiliki osilator di dalamnya, dan memerlukan sinyal gelombang (PWM/kotak) dari mikrokontroler untuk dapat menghasilkan suara.
- b) *Buzzer* ini bisa mengeluarkan berbagai nada (frekuensi) tergantung pada sinyal yang diterima.

Cara kerja singkatnya:

1. Mikrokontroler menghasilkan sinyal gelombang persegi (seperti 1 kHz, 2 kHz, dan lain-lain).
2. Sinyal itu diteruskan ke elemen piezo.
3. Piezo bergetar sesuai dengan frekuensi yang diterima → mengeluarkan suara.

2.24 PZEM-004T-10 Ampere

PZEM-004T adalah modul sensor yang digunakan untuk memonitoring pemakaian listrik salah satunya seperti tegangan, arus, dan total daya yang terpakai (Muhammad, A., et al., 2021). Versi PZEM-004T-10A merupakan varian yang mampu mengukur arus hingga 10 Ampere menggunakan shunt internal, tanpa trafo arus (CT) eksternal. Versi ini banyak digunakan pada:

1. Sistem monitoring listrik berbasis IoT
2. Pengukuran konsumsi daya alat rumah tangga
3. *Smart power meter*
4. Sistem proteksi beban
5. Panel monitoring mesin industri kecil

Modul ini dapat dihubungkan ke mikrokontroler seperti ESP8266, ESP32, Arduino, dan Raspberry Pi via komunikasi TTL UART (RX/TX).



Gambar 2. 16 PZEM-004T-10 A

2.24.1 Fungsi PZEM-004T-10 Ampere

Berikut fungsi dari PZEM-004T-10 Ampere

1. Mengukur Tegangan AC

- a) Rentang 80–260V AC
- b) Akurasi tinggi, cocok untuk monitoring PLN

2. Mengukur Arus AC

- a) Maksimal 10A (menggunakan shunt internal)
- b) Tanpa CT eksternal (lebih akurat untuk arus kecil–sedang)

3. Mengukur Daya (Watt) : Menghitung konsumsi daya aktif (*real power*)

4. Mengukur Energi (kWh)

- a) Menghitung total energi yang digunakan perangkat
- b) Tersimpan secara non-volatile (tidak hilang saat listrik padam)

5. Monitoring Frekuensi dan *Power Factor*

- a) Frekuensi PLN (50/60 Hz)
- b) Faktor daya ($\cos \phi$)

6. Integrasi IoT, terhubung ke:

- a) *ESP8266/ESP32 (via TX/RX)*
- b) *MQTT, Blynk, Firebase, Thingspeak*

2.24.2 Prinsip Kerja PZEM-004T-10 Ampere

Modul bekerja berdasarkan kombinasi:

1. Pengukuran Tegangan

- a) Mengambil sampel tegangan AC melalui rangkaian ADC internal.

- b) Menggunakan teknik RMS (*Root Mean Square*) untuk mendapatkan tegangan efektif.

2. Pengukuran Arus

- a) Menggunakan *shunt* resistor internal untuk mendeteksi arus hingga 10A.
- b) Perbedaan tegangan kecil pada shunt diukur dengan ADC berpresisi tinggi.

3. Menghitung Daya

4. Menghitung Energi

5. Komunikasi Data

- a) Modul memiliki mikrokontroller internal.
- b) Data dikirim melalui protokol UART TTL ke mikrokontroler pengguna.
- c) *Baudrate* umum: 9600 bps.

2.24.3 Spesifikasi PZEM-004T-10 Ampere

Adapun spesifikasi dari PZEM-004T-10 Ampere, ialah sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Spesifikasi PZEM-004T-10A

Parameter	Nilai
Tegangan Input AC	80 – 260 VAC
Arus Maksimum	10A (<i>shunt internal</i>)
Daya Maksimal	± 2.3 kW
Frekuensi	45–65 Hz
<i>Power Factor</i>	0.00 – 1.00
Energi (kWh)	0 ~ 9999.99 kWh
Komunikasi	TTL UART (TX, RX)
Tegangan Kerja Modul	5V DC
Isolasi Listrik	Tidak terisolasi (perlu hati-hati)
Akurasi Tegangan	$\pm 0.5\%$
Akurasi Arus	$\pm 1\%$
Ukuran Modul	$\pm 33 \times 60$ mm
Penyimpanan Energi	EEPROM internal
Versi	V3.0 (yang umum digunakan saat ini)

2.25 *Blynk* dalam Sistem IoT

Blynk merupakan platform berbasis *cloud* yang dikembangkan untuk memudahkan pembuatan proyek *Internet of Things* (IoT). Melalui platform ini, pengguna dapat menghubungkan dan mengelola perangkat keras seperti Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, dan ESP32 lewat aplikasi *mobile* tanpa perlu membuat antarmuka pengguna dari nol. Dengan *Blynk*, pengguna dapat memantau dan mengontrol perangkat IoT secara langsung dari mana saja dengan koneksi internet (Purnomo., 2024).

2.25.1 Peran *Blynk* dalam Sistem IoT

Blynk menawarkan berbagai fungsi yang mendukung pengembangan serta operasional sistem IoT, di antaranya:

1. Kontrol Perangkat Jarak Jauh: Memungkinkan pengguna untuk mengendalikan perangkat IoT dari lokasi yang jauh melalui aplikasi *mobile*.
2. Pemantauan Data Sensor: Menyediakan tampilan untuk menunjukkan data sensor secara *real-time*.
3. Penyimpanan dan Visualisasi Data: Menyimpan data historis dan menyajikannya dalam grafik atau diagram untuk analisis lebih lanjut.
4. Notifikasi dan Pemberitahuan: Mengirimkan pemberitahuan kepada pengguna berdasarkan kondisi tertentu yang terdeteksi oleh sistem.
5. Integrasi dengan Perangkat Keras: Mendukung berbagai jenis perangkat keras, sehingga memudahkan integrasi dalam berbagai proyek IoT.

2.25.2 Prinsip *Blynk*

Prinsip dasar dari *Blynk* terdiri dari tiga elemen utama:

1. Aplikasi *Blynk*: Aplikasi *mobile* yang digunakan untuk membuat antarmuka pengguna (dasbor) dengan berbagai pilihan *widget* seperti tombol, penggeser, grafik, dan banyak lagi.
2. Server *Blynk*: Server yang bertanggung jawab untuk mengatur komunikasi antara aplikasi dan perangkat keras. Pengguna bisa menggunakan server cloud *Blynk* atau mengatur server sendiri.
3. Perpustakaan *Blynk*: Kumpulan kode yang dimasukkan ke perangkat keras untuk memungkinkan interaksi dengan server *Blynk*.

Cara kerjanya adalah sebagai berikut: saat pengguna berinteraksi dengan *widget* dalam aplikasi *Blynk*, perintah akan dikirim ke server *Blynk*, yang kemudian meneruskan perintah itu ke perangkat keras melalui jaringan internet. Sebaliknya, informasi dari perangkat keras dikirim ke *server* dan ditampilkan di dalam aplikasi.



Gambar 2. 17 *Blynk*

2.26 *Google Sheets* dalam sistem IoT

Google Sheets adalah layanan *spreadsheet* berbasis *cloud* dari Google yang memungkinkan pengguna membuat, menyimpan, mengelola, dan berbagi data secara online. Dalam konteks IoT, *Google Sheets* sering dipakai sebagai “*database* ringan” (*lightweight data store*) untuk mencatat data sensor (misalnya suhu, kelembapan, kualitas udara, arus/tegangan) agar bisa dipantau dan diolah tanpa perlu membangun *server/database* kompleks. Dari data sensor yang terkirim secara *real-time* dapat langsung diakses kapanpun dan dimanapun (Sari, D. P., et al, 2021). Secara teknis, Google menyediakan antarmuka pemrograman (API) yang bersifat *RESTful* melalui *Google Sheets API* untuk membaca/menulis data *spreadsheet*. Artinya, aplikasi/alat IoT dapat mengirim data lalu *Sheets* menyimpannya ke sel/*row* tertentu.



Google Sheets

Gambar 2. 18 *Google Sheets*

2.27 Kabel AWG (*American Wire Gauge*)

Kabel AWG adalah ukuran internasional yang digunakan untuk mengetahui diameter kawat tembaga, yang membantu menentukan seberapa tebal kabel itu. Semakin rendah angka AWG, semakin besar ukuran kabel dan kemampuan mengalirkan arusnya, sedangkan angka AWG yang lebih tinggi berarti kabelnya lebih sempit. Sistem ini biasanya digunakan untuk memastikan keamanan daya kabel.



Gambar 2. 19 Kabel *AWG* (*American Wire Gauge*)

Berikut tabel sebagian acuan untuk menentukan spesifikasi kabel AWG berdasarkan kebutuhan (Solaris., ____)

Tabel 2. 6 Spesifikasi Konduktor Kabel AWG

AWG	Diameter (inch)	Diameter (mm)	Area (mm ²)	Resistansi (Ω /1000 ft)	Resistansi (Ω /km)	Maksimal Arus (A)
10	0.1019	258.826	5.26	0.9989	3.276392	15
11	0.0907	230.378	4.17	1.26	4.1328	12
12	0.0808	205.232	3.31	1,588	5.20864	9,3
13	0.0720	182.880	2.62	2.003	6.56984	7.4
14	0.0641	162.814	2.08	2.525	8.282	5.9
15	0.0571	145.034	1.65	3.184	10.44352	4.7
16	0.0508	129.032	1.31	4.016	13.17248	3.7
17	0.0453	115.062	1.04	5.064	16.60992	2.9
18	0.0403	102.362	0.823	6.385	20.9428	2.3
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8
20	0.0320	0.81280	0.518	10.15	33.292	1.5

21	0.0285	0.72390	0.41	12.8	41.984	1.2
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577

Adapun untuk tegangan jatuh, penurunan nilai tegangan listrik dari sumber ke beban yang terjadi akibat adanya hambatan pada kabel penghantar. Tegangan yang turun ini perlu dikendalikan agar peralatan listrik tetap berfungsi dengan baik. Standar nasional (SNI 04-0225-2000) menyarankan bahwa jumlah penurunan tegangan dalam sistem kelistrikan **tidak boleh lebih dari 5%** dari tegangan nominal sistem tersebut (PUIL 2000., 2000).