

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Bagian tinjauan pustaka ini berisi berbagai referensi terkait perancangan sistem *smart farming* dengan pengusir hama burung otomatis menggunakan deteksi objek sebagai dasar dalam pembuatan tugas akhir. Berikut penelitian yang berkaitan dengan pembuatan tugas akhir:

1. “Rancang Bangun *Smart Farming System Monitoring* dan Pengusir Hama Burung Berbasis Raspberry Pi 4 dengan Pengaplikasian Algoritma YOLOv5” membahas tentang pengendalian serangan hama burung pada tanaman padi yang dilakukan dengan menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis Raspberry Pi 4. Deteksi objek dilakukan secara *real-time* menggunakan kamera yang terhubung, dengan pengolahan menggunakan bantuan *library* OpenCV. Dalam penelitian ini, kamera berfungsi sebagai sensor untuk mendeteksi keberadaan burung, sedangkan Raspberry Pi berperan sebagai penghubung antara kamera dan aktuator penghasil frekuensi suara [7].
2. “Perancang Alat Pengusir Hama Burung Pipit Pada Tanaman Padi Menggunakan Gelombang Kejut Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT)” membahas tentang pengembangan alat pengusir hama burung berbasis mikrokontroler ESP8266 dan sensor PIR. Alat ini bekerja dengan mendeteksi pergerakan burung menggunakan sensor PIR, kemudian mengaktifkan motor servo dan *buzzer* untuk menghasilkan suara kejut, sehingga burung pipit menjauh dari area persawahan. Sistem ini juga memungkinkan *monitoring* berbasis jaringan lokal untuk memantau aktivitas hama secara *real-time* melalui *smartphone* [8].
3. “Implementasi Sistem Pengusir Hama Burung Berbasis Arduino untuk Optimalisasi Pertanian: Kajian *Monitoring* Kelembapan Tanah dengan *Soil Moisture Sensor*” membahas tentang pengembangan sistem

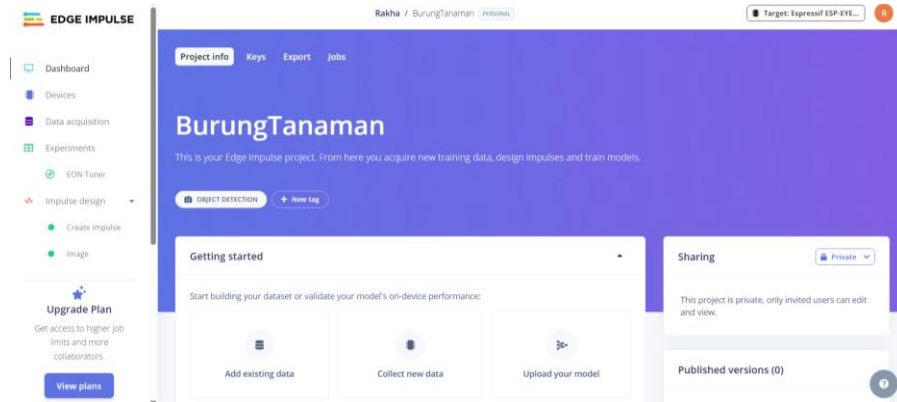
pengusir hama berbasis Arduino Mega dan IoT. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi pergerakan burung dalam area putar 180°, serta servo motor untuk menggerakkan alat pengusir burung secara otomatis. Selain fungsi pengusiran, sistem ini juga mengintegrasikan sensor *soil moisture* untuk memonitor kelembapan tanah, yang dapat dipantau secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis Firebase. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi burung dalam jarak hingga 2 meter dan memberikan notifikasi kondisi tanah kepada petani [9].

Berdasarkan referensi yang telah dikaji, penelitian sebelumnya menggunakan sistem yang berbeda-beda namun memiliki fungsi yang sama yaitu sebagai pengusir hama burung pada pertanian. Namun, diketahui hanya satu penelitian di atas yang mendeteksi objek dengan bantuan kamera. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini, dikembangkan sistem pengusir hama burung menggunakan deteksi objek dengan bantuan kamera, tetapi juga mampu mengusir burung dengan cara adanya motor servo yang mampu mengusir burung secara visual dan *buzzer* aktif 12V sebagai alarm suara yang bertujuan menimbulkan efek kejut terhadap burung. Pada pengembangan ini juga dapat menjaga kualitas tanaman karena dilengkapi dengan sensor kelembapan tanah dan penyiraman otomatis yang dapat dimonitor pada *dashboard*.

2.2 Edge Impulse dan TinyML

Edge Impulse merupakan sebuah platform *Machine Learning Operations* (MLOps) berbasis cloud yang dirancang khusus untuk mendukung pengembangan sistem tertanam (*embedded system*) dan teknologi TinyML. Platform ini memungkinkan pengguna untuk membangun, melatih, serta mengimplementasikan model kecerdasan buatan secara langsung ke perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti mikrokontroler berdaya rendah. Edge Impulse mendukung optimalisasi model agar dapat dijalankan pada memori kecil dan dengan konsumsi daya yang sangat rendah, sehingga cocok diterapkan dalam berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT). Selain itu, platform ini menyediakan antarmuka yang

ramah pengguna serta integrasi langsung dengan perangkat keras seperti ESP32, Arduino, dan Raspberry Pi untuk mempermudah proses pengujian dan *deployment* [10].



Gambar 2.1 *Dashboard* Edge Impulse

Edge Impulse menyediakan fitur utama berupa pengumpulan data langsung dari sensor atau kamera, pelabelan data secara manual maupun otomatis, pelatihan model *machine learning*, serta evaluasi model menggunakan metrik seperti akurasi, *precision*, dan *confusion matrix*. Setelah model dilatih dan dievaluasi, hasilnya dapat di-*deploy* ke berbagai perangkat edge dalam format seperti Arduino, C++, atau WebAssembly. Berdasarkan fitur-fitur tersebut, berikut penulis menjelaskan alur kerja Edge Impulse secara berurutan, mulai dari akuisisi data hingga proses *deployment* ke perangkat tujuan.

2.3.1 *Data Acquisition*

Data Acquisition adalah tahap pengambilan data dari sensor atau perangkat *input*, seperti kamera, mikrofon atau sensor lainnya. Data dapat direkam secara langsung melalui perangkat atau diunggah dari sumber eksternal.

2.3.2 *Labeling*

Labeling adalah tahap Proses pemberian label pada data yang telah dikumpulkan agar sistem dapat membedakan antara satu kelas dengan kelas lainnya. *Labeling* dapat dilakukan secara manual melalui antarmuka Edge Impulse atau secara otomatis dengan bantuan algoritma.

2.3.3 *Feature Extraction*

Feature Extraction adalah tahap sistem mengambil bagian-bagian penting dari data, seperti bentuk, warna, atau pola tertentu dari gambar, supaya komputer bisa belajar mengenalinya.

2.3.4 *Training*

Training adalah tahap data yang sudah diberi label tadi digunakan untuk melatih sistem agar bisa belajar membedakan gambar. Jadi, sistem akan belajar sendiri bagaimana mengenali burung dari gambar.

2.3.5 *Model Testing & Evaluation*

Model Testing dan Evaluation adalah tahap Setelah *training*, sistem diuji untuk melihat apakah ia bisa mengenali gambar dengan benar. Hasilnya dilihat dari seberapa sering sistem menjawab dengan tepat atau salah. Pada tahap ini juga digunakan alat bantu yang disebut *confusion matrix*, yaitu tabel yang menunjukkan perbandingan antara hasil prediksi sistem dan kenyataan sebenarnya. Dari sini bisa dilihat seberapa akurat sistem dalam mengenali objek.

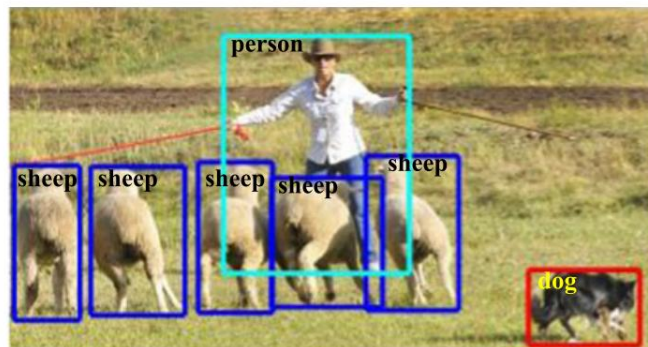
2.3.6 *Deployment ke Perangkat*

Kalau sistem sudah pintar mengenali objek, hasilnya bisa dimasukkan mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino, supaya bisa langsung digunakan karna hasil pelatihan bisa dikonversi langsung menjadi *library* Arduino.

2.3 Deteksi Objek

Deteksi objek dalam pengolahan citra digital merupakan proses yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu objek tertentu terdapat dalam sebuah gambar digital. Proses ini dilakukan dengan menganalisis berbagai fitur visual dari objek-objek yang ada dalam gambar, seperti bentuk, warna, pola, atau tekstur. Dalam praktiknya, deteksi objek mencakup dua tugas utama, yaitu *object localization* yang bertujuan untuk menentukan posisi objek dalam gambar, dan *object classification* yang berfungsi untuk mengidentifikasi jenis atau kategori dari objek tersebut. Metode yang digunakan pun beragam, tergantung pada jenis objek

yang ingin dikenali dan tingkat akurasi yang dibutuhkan. Deteksi objek menjadi salah satu langkah penting dalam berbagai aplikasi, seperti sistem pengawasan, kendaraan otonom, pertanian cerdas, hingga pengenalan wajah, karena memungkinkan sistem untuk secara otomatis mengenali dan menandai objek dalam citra yang diberikan[11].



Gambar 2.2 Deteksi Objek [12]

2.4 *Confusion Matrix*

Confusion matrix merupakan salah satu metode evaluasi yang digunakan untuk menilai kinerja algoritma *machine learning*, khususnya pada kasus klasifikasi. Metode ini menyajikan hasil evaluasi dalam bentuk tabel yang memperlihatkan perbandingan antara hasil prediksi sistem dengan kondisi aktual. *Confusion Matrix* terdiri dari empat komponen yakni sebagai berikut.

- *True Positive* (TP): Model memprediksi positif, dan prediksi benar
- *False Positive* (FP): Model memprediksi positif, dan prediksi salah
- *True Negative* (TN): Model memprediksi negatif, dan prediksi benar
- *False Negative* (FN): Model memprediksi negatif, dan prediksi salah

Tabel 2.1 Struktur *Confusion Matrix*

	Prediksi	
Aktual	<i>True</i>	<i>False</i>
<i>True</i>	TP	FP
<i>False</i>	FN	TN

Tabel 2.1 terdiri dari empat kombinasi nilai, yang menggambarkan sejauh mana model mampu mengklasifikasikan data dengan benar atau salah. *Confusion matrix* juga dapat digunakan untuk mengevaluasi model klasifikasi dengan dua kelas maupun lebih dari dua kelas. Selain sebagai alat pengukur performa, *confusion matrix* juga berfungsi sebagai visualisasi yang memudahkan analisis terhadap akurasi prediksi model. Dari *confusion matrix*, dihasilkan persamaan evaluasi untuk menghitung akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-Score*[13]. Berikut penjelasan beserta persamaannya;

- *Accuracy* adalah mengukur seberapa sering prediksi model benar.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2.1)$$

- *Precision* adalah mengukur seberapa banyak prediksi positif yang benar-benar positif.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2.2)$$

- *Recall* adalah mengukur seberapa banyak data positif yang berhasil dikenali dengan benar oleh model.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.3)$$

- *F1-Score* adalah merupakan rata-rata harmonis dari *Precision* dan *Recall*, digunakan ketika ada ketidakseimbangan kelas.

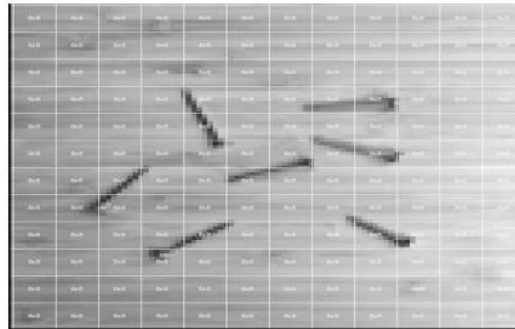
$$F1 - Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (2.4)$$

2.5 Fomo (*Faster Object, More Object*)

FOMO (*Faster Objects, More Objects*) merupakan arsitektur *deep learning* yang dikembangkan oleh platform Edge Impulse untuk deteksi objek secara efisien pada perangkat dengan keterbatasan daya dan komputasi. Berbeda dengan model deteksi konvensional yang mengandalkan unit pemrosesan grafis seperti GPU atau TPU, FOMO dirancang agar dapat berjalan optimal pada mikrokontroler berdaya rendah seperti ARM Cortex-M maupun ESP32. Pendekatan ini memungkinkan penghematan konsumsi daya dan pengurangan latensi dengan menyederhanakan jumlah operasi matematika dan parameter model.

Awalnya, FOMO lebih dikenal untuk tugas deteksi objek tunggal (*single-class*), namun kini dapat diperluas untuk menangani deteksi multi-kelas (*multi-class*), dengan catatan bahwa akurasi sangat bergantung pada penempatan *grid* dan pelabelan data pelatihan yang tepat. FOMO menggunakan mekanisme *output grid* yang mencatat probabilitas keberadaan objek di setiap sel tanpa perlu memproses atribut kompleks seperti ukuran atau orientasi dari *bounding box*. Dengan pendekatan ini, beban pemrosesan menjadi lebih ringan namun tetap memberikan informasi lokasi objek yang cukup akurat untuk berbagai keperluan[14].

Algoritma FOMO menggunakan *heat map* sebagai salah satu cara untuk mendeteksi objek pada gambar. *Heat map* ini adalah gambaran visual yang menunjukkan area-area dalam gambar di mana objek kemungkinan berada, dengan menandai piksel-piksel yang memiliki intensitas tinggi. Ukuran *heat map* ini bisa diatur agar lebih kecil dari gambar asli, misalnya dibuat 8 kali lebih kecil untuk mengurangi beban pengolahan data. Contohnya, jika gambar *input* berukuran 160×160 piksel, maka *heat map* yang dihasilkan akan berukuran 20×20 piksel. Dengan cara ini, proses pendeteksian menjadi lebih cepat dan ringan, sehingga cocok digunakan pada perangkat dengan keterbatasan daya dan kemampuan komputasi.



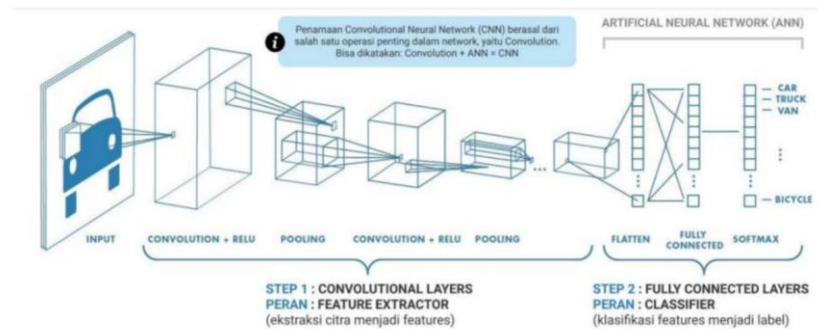
Gambar 2.3 Grid Fomo [15]

Dari *heat map* tersebut, algoritma FOMO kemudian menentukan titik pusat atau yang disebut centroid dari objek yang terdeteksi. Centroid ini adalah koordinat x dan y yang menunjukkan posisi tengah objek pada gambar. Berbeda dengan metode lain yang menandai objek menggunakan kotak pembatas (*bounding box*), FOMO hanya menampilkan titik tengah objek tanpa menggambar kotak di sekelilingnya. Hal ini membuat proses deteksi menjadi lebih sederhana dan cepat, serta memudahkan aplikasi-aplikasi seperti sistem keamanan, pengawasan lingkungan, atau *smart farming* yang memerlukan deteksi objek secara *real-time* dengan sumber daya terbatas.



Gambar 2.4 Visual Centroid [10]

FOMO (Faster Objects, More Objects) menggunakan arsitektur MobileNetV2 0.1 dari Edge Impulse. MobileNetV2 sendiri merupakan bagian dari metode *Convolutional Neural Network* (CNN), yaitu sebuah teknik pembelajaran mesin yang dirancang khusus untuk mengolah data berbentuk gambar dua dimensi. CNN dikembangkan dari model jaringan syaraf tiruan yang lebih sederhana, yaitu *Multi-Layer Perceptron* (MLP).



Gambar 2.5 Tahapan klasifikasi citra dengan metode CNN [10]

Metode ini dirancang untuk mengenali pola atau ciri dari gambar, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem pengolahan citra. Secara umum, CNN memiliki dua tahapan utama. Tahap pertama adalah *feature extractor*, yang bertugas mengambil ciri atau informasi penting dari gambar dan mengubahnya menjadi bentuk angka. Kemudian tahap kedua adalah *classification*, di mana angka-angka yang sudah diolah tadi diproses lebih lanjut untuk menentukan kelas atau jenis gambar tersebut. Ilustrasi proses klasifikasi citra dengan CNN dapat dilihat pada Gambar 2.5 [10].

2.6 Firebase

Firebase adalah sebuah platform layanan yang disediakan oleh Google, yang digunakan untuk menyimpan dan mengelola data secara *real-time*. Artinya, Firebase dapat mengirim dan menerima data secara langsung saat itu juga, tanpa perlu menunggu atau memuat ulang halaman. Hal ini sangat berguna untuk aplikasi yang membutuhkan pembaruan data secara cepat, seperti aplikasi chat, *monitoring* sensor IoT, atau pelacakan posisi pengguna.

Firebase memiliki sistem penyimpanan data berbasis cloud dan menggunakan struktur data NoSQL, di mana data disimpan dalam format JSON (mirip seperti struktur folder dan file). Berbeda dari sistem database tradisional seperti MySQL yang menggunakan tabel dan kolom, Firebase menyimpan data dalam bentuk objek yang saling bersarang (nested). Firebase juga memiliki kemampuan untuk menyinkronkan data secara otomatis ke semua perangkat (klien) yang terhubung. Jadi, jika ada satu perangkat yang mengubah data, perangkat lain yang terhubung akan langsung menerima pembaruan tersebut secara otomatis[16].

2.7 *Smart Farming*

Dalam konsep *Smart Farming*, terdapat beberapa elemen penting yang menjadi dasar penerapannya. Salah satu elemen tersebut adalah penggunaan sensor dan sistem pemantauan. Teknologi ini memanfaatkan sensor yang dipasang di area pertanian untuk memantau serta mengumpulkan data mengenai berbagai kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan tanah, kualitas udara, dan pencahayaan. Informasi yang diperoleh memberikan gambaran kondisi lahan secara *real-time* dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat oleh petani.

Selain itu, *Smart Farming* juga mengadopsi konsep *Internet of Things* (IoT) untuk menghubungkan dan mengintegrasikan berbagai sensor serta perangkat elektronik. Melalui konektivitas ini, data yang diperoleh dapat dipantau dan dianalisis melalui jaringan komunikasi, sehingga memungkinkan pengelolaan dan pengendalian lahan pertanian dilakukan dengan lebih efisien, bahkan dari lokasi yang jauh [17].

2.8 *Tanaman Tomat*

Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill) adalah salah satu jenis sayuran yang dapat tumbuh di berbagai wilayah, mulai dari dataran rendah hingga daerah pegunungan. Tanaman ini bisa dibudidayakan pada berbagai tipe tanah, mulai dari tanah berpasir hingga tanah lempung. Namun, untuk mendapatkan pertumbuhan yang optimal, tomat memerlukan tanah lempung berpasir yang subur, gembur, dan memiliki kemampuan merembeskan air dengan baik. Kondisi tanah yang tergenang air secara terus-menerus dapat membuat tanaman menjadi kerdil, memicu pembusukan akar, serta menghambat penyerapan nutrisi, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kematian tanaman [18]. Pertumbuhan tomat yang optimal memerlukan kondisi kelembapan tanah pada kisaran 60–80% [19]. Tanaman tomat membutuhkan paparan sinar matahari minimal selama 8 jam per hari, dengan intensitas cahaya ideal berkisar antara 10.000 hingga 30.000 lux setiap harinya [20]. Penyiraman sebaiknya dilakukan pada pagi hari antara pukul 06.00–10.00 dan pada sore hari antara pukul 15.00–18.00 [21].

2.9 Hama Burung

Hama merupakan organisme hewan yang dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman atau hasil panen melalui aktivitas hidupnya, terutama dalam upaya memperoleh makanan. Kerusakan yang ditimbulkan oleh hama dapat mengganggu pertumbuhan tanaman secara signifikan, bahkan hingga mengakibatkan tanaman tidak dapat menghasilkan panen. Jenis hama tanaman meliputi hewan mamalia, serangga, dan burung. Contoh hama dari golongan mamalia antara lain tikus, babi hutan, dan kera. Sementara itu, hama dari jenis burung mencakup burung gelatik dan burung pipit [5].

Hama burung merupakan salah satu ancaman utama bagi petani karena dapat menyebabkan penurunan hasil produksi perkebunan. Peningkatan populasi burung berkontribusi terhadap berkurangnya jumlah panen yang diperoleh. Untuk mengatasi gangguan ini, petani menerapkan berbagai metode pencegahan agar burung tidak menyerang lahan perkebunan, seperti membuat orang-orangan sawah atau memasang tali dengan kaleng bekas yang diikat pada jarak tertentu. Ketika tali digerakkan, kaleng akan menimbulkan suara yang diharapkan mampu mengusir burung dari area perkebunan [4].

Burung pipit memiliki ketertarikan terhadap tanaman tomat, terutama karena warna buahnya yang mencolok. Tomat yang telah matang cenderung menarik perhatian burung dan tampak seperti sumber makanan yang mudah diakses, terutama pada bagian kulitnya. Serangan burung terhadap tomat dapat terjadi pada berbagai fase kematangan, mulai dari tahap pembungaan, tahap hijau muda, hijau matang khas, merah muda, merah, hingga tahap terlalu masak [3].

2.10 ESP 32

ESP32 merupakan sebuah perangkat *System on Chip* (SoC) yang telah dilengkapi dengan fitur WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, serta berbagai periferal pendukung. Chip ESP32 bersifat sangat komprehensif karena mengintegrasikan prosesor, memori penyimpanan, serta akses ke pin GPIO (*General Purpose Input Output*) dalam satu paket. ESP32 dapat berfungsi sebagai alternatif pengganti rangkaian Arduino, dengan kemampuan untuk langsung terhubung ke jaringan WiFi [22].



Gambar 2.6 ESP32 [22].

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali utama sistem. ESP32 bertugas mengolah data dari modul kamera untuk melakukan deteksi objek secara *real-time* menggunakan algoritma pengolahan citra. Selain itu, ESP32 mengatur respon aktuator seperti *buzzer* atau motor servo untuk mengusir hama burung berdasarkan hasil deteksi. Dengan dukungan konektivitas WiFi bawaan, ESP32 juga memungkinkan integrasi sistem dengan platform *Internet of Things* (IoT) untuk memantau hasil deteksi dan aktivitas alat secara jarak jauh melalui *dashboard monitoring*. Berikut merupakan spesifikasi dari ESP32 yang ditujukan pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroller	ESP32
Tegangan Operasional	3,0V - 3,6V (umumnya 3,3V)
Arus Operasional	160 – 260 mA(aktif), 80 – 120mA(siaga)
Tegangan <i>Input</i>	5V melalui konektor USB
Jumlah Pin Digital I/O	34
Jumlah Pin Analog	18 (Bisa sebagai digital)
Kecepatan <i>Clock</i>	240 MHz
Fitur Tambahan	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2

2.11 ESP 32 CAM

ESP32-CAM adalah sebuah papan pengembangan (*development board*) berbasis mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan konektivitas WiFi, Bluetooth, serta kamera digital (umumnya tipe OV2640) [23]. Modul ini bersifat

open source sehingga dapat dimanfaatkan oleh siapa saja. Salah satu fungsinya adalah untuk mengambil gambar, melakukan pengenalan wajah, serta mendeteksi keberadaan wajah.



Gambar 2.7 ESP32-Cam [22]

Modul ini dapat diprogram menggunakan Arduino IDE dengan memanfaatkan berbagai *library* dan fitur yang telah tersedia. Secara fisik, ESP32-CAM memiliki desain yang kompak dan dapat digunakan dalam berbagai proyek. Modul ini merupakan perangkat lengkap dengan mikrokontroler yang terintegrasi, sehingga mampu beroperasi secara mandiri. Selain fitur konektivitas WiFi dan Bluetooth, ESP32-CAM juga dilengkapi dengan kamera bawaan dan slot microSD untuk penyimpanan data [22]. Berikut merupakan spesifikasi dari ESP32-Cam yang ditujukan pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi ESP32-Cam

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ESP32
Tegangan Operasional	3,0V – 3,6V (umumnya 3,3V)
Arus Operasional	160 – 260 mA(aktif), 6mA (Siaga)
Tegangan <i>Input</i>	5V melalui konektor usb
Jumlah Pin Digital I/O	16 pin
Jumlah Pin Analog	Tersedia (pada beberapa GPIO)
Kecepatan <i>Clock</i>	240MHz
Kamera	OV2640 (resolusi 1600x1200)
Konektivitas	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth BLE

2.12 *Capacitive Soil Moisture*

Sensor *soil moisture* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban tanah. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas, di mana semakin banyak kandungan air di dalam tanah, resistansi akan semakin rendah, dan sebaliknya.



Gambar 2.8 Sensor Kelembapan Tanah [24]

Sensor menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai dengan tingkat hambatan, sehingga tingkat kelembaban tanah dapat diketahui. Alat ini banyak digunakan dalam sistem pertanian untuk memantau kebutuhan air tanaman secara otomatis dan efisien [24]. Berikut merupakan spesifikasi dari Sensor *soil moisture* yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Kelembapan Tanah

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Sensor	<i>Soil Moisture Sensor</i>
Tegangan Operasional	3,3V – 5V
Tegangan <i>Input</i>	3,3V – 5V
Arus Kerja	<20mA
<i>Output</i>	Analog dan Digital

2.13 *Real Time Clock DS3231 (RTC)*

RTC mampu menyediakan informasi waktu secara lengkap, meliputi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Fitur kalender pada RTC secara otomatis menyesuaikan tanggal pada akhir bulan, termasuk koreksi untuk tahun kabisat, sehingga memastikan akurasi penanggalan tanpa perlu intervensi manual.

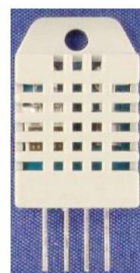
Selain itu, RTC dapat dioperasikan dalam format waktu 24 jam atau 12 jam dengan indikator AM/PM, memberikan fleksibilitas dalam penyajian waktu sesuai kebutuhan aplikasi [25]. IC yang terdapat pada RTC DS3231 memungkinkan perangkat ini untuk membangun jalur data paralel melalui antarmuka serial dua kawat. RTC DS3231 memanfaatkan dua port, yaitu (SDA) untuk *Serial Data* dan (SCL) untuk *Serial Clock*, yang berfungsi untuk membaca isi register dari RTC tersebut [26].



Gambar 2.9 Real Time Clock DS3231 (RTC) [26]

2.14 DHT22

Sensor DHT22 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif, dengan keluaran data berupa sinyal digital. Sensor ini memiliki empat pin utama, yaitu pin untuk suplai daya, pin sinyal data, pin yang tidak digunakan (NC/null), dan pin *ground*.



Gambar 2.10 Sensor DHT22 [27]

Dibandingkan dengan DHT11, DHT22 menawarkan tingkat akurasi yang lebih tinggi, dengan tingkat kesalahan pengukuran suhu sekitar $0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban sekitar $\pm 2-5\%$. Selain itu, DHT22 memiliki rentang pengukuran yang lebih luas, yakni dari -40°C hingga 80°C untuk suhu, dan 0% hingga 100% RH untuk kelembaban, sehingga lebih cocok digunakan pada aplikasi yang

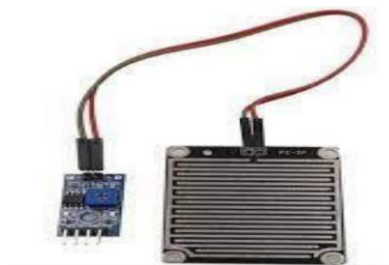
membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih baik [27]. Berikut merupakan spesifikasi dari DHT22 yang ditujukan pada Tabel 2.5 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor DHT22

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Sensor	Suhu dan Kelembapan
Tegangan Operasional	3,3V – 6V
Arus Operasional	$\pm 2,5$ mA saat pengukuran
Tegangan <i>Input</i>	3,3V – 6V
Rentang Suhu	-40°C hingga +80°C
<i>Output</i>	Sinyal Digital

2.15 Sensor Hujan

Sensor *Raindrops* digunakan untuk mendeteksi hujan dan terdiri dari dua bagian utama: papan sensor yang mendeteksi hujan dan modul kontrol yang mengubah nilai analog menjadi sinyal digital. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi. Papan sensor terbuat dari material nikel berbentuk garis, yang mengumpulkan tetesan hujan. Ketika air hujan menyentuh papan sensor, resistansinya menurun karena air sebagai penghantar listrik menghubungkan garis-garis nikel secara paralel, sehingga menurunkan hambatan dan tegangan.



Gambar 2.11 Sensor Hujan [28]

Modul ini menggunakan op-amp LM393 untuk mengukur perubahan resistansi dan menghasilkan sinyal digital ketika kelembapan melewati ambang batas. Sensor ini dapat diterapkan pada berbagai aplikasi seperti sistem *wiper* otomatis pada mobil dan kontrol irigasi otomatis [28]. Berikut merupakan spesifikasi dari *Rain Sensor* yang ditujukan pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor Hujan

Keterangan	Spesifikasi
Tipe Sensor	Sensor Hujan (<i>Rain Sensor</i>)
Tegangan Operasional	3,3V – 5V
Tegangan <i>Input</i>	3,3V – 5V
Arus Operasional	<20 mA
<i>Output</i>	Analog dan Digital

2.16 *Pump Motor 12v*

Pompa merupakan alat mekanis yang berfungsi untuk memindahkan fluida, biasanya berupa cairan, dari satu tempat ke tempat lain. Proses ini dapat melibatkan peningkatan ketinggian (*head*) cairan, peningkatan tekanan, atau keduanya, tergantung pada kebutuhan sistem. Dalam aplikasinya, pompa digunakan untuk mengalirkan cairan dari area dengan tekanan atau elevasi lebih rendah menuju area dengan tekanan atau elevasi lebih tinggi.

**Gambar 2.12** Pompa Air DC 12V [29]

Secara umum, pompa diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu pompa dinamis dan pompa perpindahan positif, masing-masing dengan karakteristik operasi yang berbeda sesuai dengan jenis fluida dan kondisi proses yang diinginkan [29]. Berikut merupakan spesifikasi dari Pompa Air yang ditujukan pada Tabel 2.7 sebagai berikut.

Tabel 2.7 Spesifikasi Pompa Air DC 12V

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	Pompa Air DC <i>Mini</i>
Tegangan Operasional	12V DC
Tegangan <i>Input</i>	6V – 12V DC
Arus Kerja	$\pm 1,5\text{A} - 2\text{A}$
Tekanan	100Psi
Debit Air	$\pm 2-3$ liter/menit

2.17 Servo Motor MG996R

Berbeda dengan motor DC biasa maupun motor stepper, motor servo merupakan jenis motor yang menggunakan sistem *closed-loop feedback*, di mana posisi motor secara terus-menerus dipantau dan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol internal pada motor servo [30]. Motor servo MG996R merupakan jenis motor servo yang memiliki torsi cukup besar. Motor ini menggunakan gear berbahan logam, sehingga mampu menghasilkan torsi yang cukup kuat untuk menopang beban hingga 5 kilogram.



Gambar 2.13 Motor Servo [30]

Salah satu keunggulan dari motor servo MG996R adalah adanya peningkatan pada sistem *shock proofing* serta penyempurnaan pada sistem kontrol, yang menjadikannya lebih akurat dibandingkan dengan generasi sebelumnya, yaitu MG995R. Selain itu, motor servo ini dilengkapi dengan berbagai jenis lengan (horn) yang memungkinkan penggunaannya pada beragam aplikasi. Motor servo MG996R memiliki tiga kabel, yaitu kabel berwarna oranye yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal, kabel coklat sebagai jalur *ground*, dan kabel merah yang

berfungsi untuk suplai daya [31]. Berikut merupakan spesifikasi dari Motor Servo MG996R yang ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Spesifikasi Motor Servo

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	Motor Servo MG996R
Tegangan Operasional	4,8V – 7,2V DC
Tegangan <i>Input</i>	4,8V – 7,2V DC
Arus Kerja	± 500 mA saat operasi normal, 2,5A(MAX)
Torsi Maksimal	9,4 kg·cm (4,8V) / 11 kg·cm (6V)
Kecepatan Rotasi	0,19 detik/60° (4,8V) / 0,14 detik/60° (6V)
Sudut Putar	$\pm 180^\circ$

2.18 *Power Supply*

Catu daya atau *power supply* merupakan perangkat listrik yang berfungsi menyediakan energi listrik bagi berbagai peralatan listrik maupun elektronika. Secara prinsip, catu daya membutuhkan sumber energi listrik utama, kemudian mengonversinya menjadi bentuk energi listrik yang sesuai dengan kebutuhan perangkat yang disuplai. Karena fungsi konversinya ini, catu daya sering pula disebut sebagai *Electric Power Converter*.



Gambar 2.14 *Power Supply* SMPS [32]

Salah satu jenis catu daya yang banyak digunakan adalah *Switch Mode Power Supply* (SMPS). SMPS bekerja dengan langsung menyearahkan (*rectify*) dan

menyaring (*filter*) tegangan AC dari sumber listrik untuk menghasilkan tegangan DC. Selanjutnya, tegangan DC tersebut diubah melalui proses *switching* dengan frekuensi tinggi, menghasilkan arus AC berfrekuensi tinggi yang kemudian dialirkan melalui transformator berukuran kecil. Keunggulan utama dari metode ini adalah efisiensinya yang tinggi. Hal ini disebabkan karena transistor daya dalam SMPS beroperasi sebagai saklar (*switch*), sehingga kerugian daya akibat disipasi panas sangat minim. Selain itu, penggunaan transformator frekuensi tinggi memungkinkan desain SMPS menjadi lebih ringkas, ringan, serta menghasilkan panas yang lebih sedikit dibandingkan transformator frekuensi rendah konvensional. Meskipun demikian, SMPS juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain kompleksitas rangkaian yang lebih tinggi, serta potensi timbulnya gangguan elektromagnetik (EMI) akibat gelombang frekuensi tinggi yang harus diredam menggunakan *low-pass filter* khusus [33]. Berikut merupakan spesifikasi dari *Switch Mode Power Supply* (SMPS) yang ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Spesifikasi *Power Supply* SMPS

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	SMPS (<i>Switching Mode Power Supply</i>)
Tegangan Inpt	100V – 240V AC, 50/60 Hz
Tegangan <i>Output</i>	12V DC
Arus <i>Output</i>	10A
Daya Maksimal	60 Watt

2.19 *Buck Converter* 5V LM2596

Seri regulator LM2596 merupakan sirkuit terintegrasi monolitik yang menyediakan seluruh fungsi aktif yang dibutuhkan untuk regulator *switching* tipe *step-down* (*buck converter*). Regulator ini mampu menggerakkan beban hingga 3 A dengan karakteristik pengaturan tegangan saluran (*line regulation*) dan beban (*load regulation*) yang sangat baik. LM2596 tersedia dalam beberapa varian tegangan *output* tetap, yaitu 3,3 V, 5 V, dan 12 V, serta versi yang memungkinkan penyesuaian tegangan *output* sesuai kebutuhan.



Gambar 2.15 *Buck Converter* LM2596 [34]

Dengan kebutuhan komponen eksternal yang minimal, regulator ini dirancang agar mudah digunakan, dilengkapi dengan kompensasi frekuensi internal dan generator frekuensi tetap. LM2596 beroperasi pada frekuensi *switching* sebesar 150 kHz, sehingga memungkinkan penggunaan komponen filter berukuran lebih kecil dibandingkan regulator *switching* dengan frekuensi lebih rendah. Produk ini tersedia dalam kemasan standar 7-pin TO-220 dengan berbagai opsi bentuk kaki, serta dalam kemasan pemasangan permukaan (SMD) 7-pin TO-263 [34]. Berikut merupakan spesifikasi dari *Buck Converter* yang ditujukan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Spesifikasi Buck Converter LM2596

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	Buck Converter LM2596
Tegangan <i>Input</i>	4,5V – 40V DC
Tegangan <i>Output</i>	1,23V – 37V DC
Arus <i>Output</i>	3A (Max)
Daya Maksimal	15 Watt
Frekuensi	150KHz

2.20 Modul Relay 5v

Relay adalah saklar listrik yang dikendalikan oleh komponen elektromagnetik dan mekanik. Relay bekerja dengan menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar, sehingga arus listrik dengan daya kecil dapat digunakan untuk mengalirkan tegangan listrik yang lebih tinggi. Misalnya, relay dengan elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan armature relay untuk menghantarkan listrik bertegangan 220V dengan arus 2A. Cara kerja relay melibatkan pemberian tegangan pada kaki tertentu, yang mengubah posisi kaki CO (*Change Over*) dari NC (*Normally Close*) ke NO (*Normally Open*).



Gambar 2.16 Modul Relay [35]

Sebagai saklar elektronik, relay memanfaatkan solenoid yang menginduksi gaya magnet saat dialiri arus listrik. Gaya magnet tersebut menarik tuas saklar hingga kontak saklar menutup. Ketika arus listrik dihentikan, gaya magnet hilang, tuas saklar kembali ke posisi awal, dan kontak saklar terbuka. Relay umum digunakan untuk mengalirkan tegangan atau arus besar, seperti peralatan listrik 220V 4A, dengan tegangan atau arus kecil seperti 12V 0.1A. Relay elektromekanikal sederhana adalah jenis yang menunjukkan gerakan mekanis ketika menerima energi Listrik [35]. Berikut merupakan spesifikasi dari Modul Relay yang ditujukan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Spesifikasi Modul Relay

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	Modul Relay
Tegangan <i>Input</i>	5V DC
Tegangan <i>Output</i>	250V AC / 30V DC
Arus <i>Output</i>	10A
Daya Maksimal	150 Watt

2.21 *Buzzer* Aktif

Buzzer merupakan komponen elektronika yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Umumnya, *buzzer* digunakan dalam sistem alarm atau sebagai indikator suara. *Buzzer* tergolong dalam jenis transduser, dengan struktur sederhana berupa dua terminal, yaitu kutub positif dan negatif. Untuk pengoperasian dasar, *buzzer* dapat diaktifkan dengan pemberian tegangan kerja antara 3 hingga 12 volt. Prinsip kerja *buzzer*, khususnya tipe piezoelektrik,

didasarkan pada aliran listrik yang menyebabkan material piezoelektrik bergetar dan menghasilkan suara.



Gambar 2.17 *Buzzer Aktif* [36]

Piezo *buzzer* mampu bekerja secara optimal dalam rentang frekuensi 1–6 kHz hingga mencapai 100 kHz. Pengujian *buzzer* dapat dilakukan tanpa memerlukan mikrokontroler seperti Arduino, cukup dengan memberikan tegangan sesuai spesifikasi. *Buzzer* juga memiliki impedansi serupa dengan speaker; jika impedansinya di bawah 10 ohm, dapat langsung dihubungkan ke mikrokontroler, namun untuk impedansi lebih tinggi diperlukan rangkaian driver untuk menyesuaikan arus masuk ke *buzzer* [36]. Berikut merupakan spesifikasi dari *Buzzer* yang ditujukan pada Tabel 2.12.

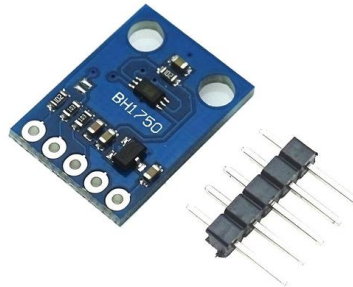
Tabel 2.12 Spesifikasi *Buzzer Aktif*

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	<i>Buzzer Aktif</i> 12V
Tegangan Rated	12V DC
Tegangan Operasional	6C – 15V DC
Arus Rated Maksimal	350 Ma
Tingkat kebisingan	>110 Db
Frekuensi Resonansi	3000 ± 500 Hz

2.22 Sensor BH1750

Modul sensor cahaya BH1750 menghasilkan keluaran berupa sinyal digital. Data yang dihasilkan langsung berupa nilai intensitas cahaya dalam satuan lux, sehingga tidak memerlukan perhitungan tambahan. Sensor ini mampu mengukur intensitas cahaya mulai dari 1 hingga 65.535 lux, dengan objek pengukuran seperti sinar matahari, lampu pijar, lampu neon, hingga LED. Pengaruh sinar inframerah

terhadap hasil pembacaan sangat kecil, sehingga sensor ini aman digunakan. BH1750 memiliki keunggulan sensitivitas tinggi terhadap perubahan cahaya di lingkungan.



Gambar 2.18 Sensor BH1750[37]

Cara kerjanya didasarkan pada perubahan resistansi ketika cahaya mengenai fotodiode, yang kemudian menghasilkan sinyal digital dengan tingkat presisi tinggi. Karena itu, sensor ini sangat sesuai digunakan dalam sistem pertanian berbasis IoT yang terhubung dengan mikrokontroler seperti ESP32 untuk kebutuhan *monitoring* dan kendali secara *real-time* [38]. Selain itu, sensor ini juga digunakan sebagai pendekatan untuk memantau apakah tanaman mendapatkan intensitas cahaya yang cukup guna mendukung pertumbuhan hariannya.

Tabel 2.13 Spesifikasi Sensor BH1750

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Komponen	Sensor Cahaya Digital BH1750
Tegangan Operasional	3.3V – 5V
Arus Operasional	< 1 mA
Output	Digital (I2C)
Rentang Pengukuran	1 – 65.535 lux

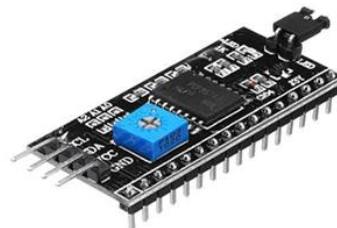
2.23 LCD 20x4

LCD merupakan gabungan dari beberapa bahan organik yang disusun membentuk satu kesatuan, terdiri dari lapisan kaca bening yang dilengkapi dengan elektroda transparan berbahan indium oksida, yang tersusun menyerupai tampilan *seven segment*, serta elektroda lain yang berada pada kaca bagian belakang. Di

antara lapisan-lapisan tersebut terdapat susunan seperti *sandwich* yang memiliki polarisator cahaya vertikal dan horizontal. Polarisator di bagian belakang akan menyesuaikan dengan lapisan reflektor. Molekul-molekul di dalamnya akan menyesuaikan orientasi sehingga cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati lapisan tersebut, menghasilkan tampilan gelap yang membentuk karakter sesuai yang diinginkan [26].

2.24 Inter Integrated Circuit

Merupakan perangkat yang dirancang khusus untuk menerima dan mengirim data menggunakan standar komunikasi serial dua arah, serta dilengkapi dengan dua saluran. Sistem ini menggunakan dua jalur komunikasi serial pada protokol I2C, yaitu SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*), yang berperan sebagai pembawa informasi. Perangkat ini memiliki dua fungsi, yaitu sebagai *master* dan *slave*. Ketika perangkat memulai proses pengiriman data dengan sinyal awal (*start*), maka secara otomatis berperan sebagai master. Sebaliknya, ketika perangkat mengakhiri proses pengiriman data dengan sinyal akhir (*stop*), maka berfungsi sebagai *slave* [26].

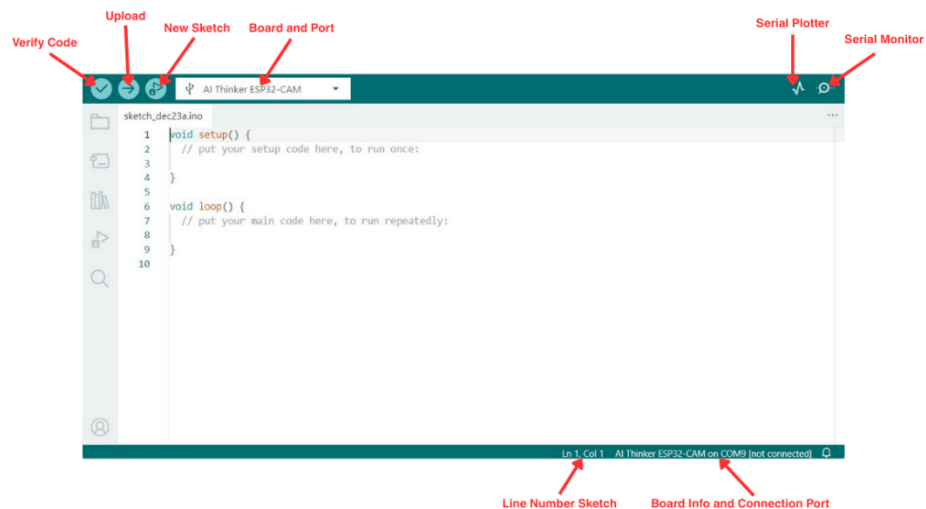


Gambar 2.19 Inter Integrated Circuit [26]

2.25 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman, atau dengan kata lain berfungsi sebagai media untuk menulis dan memuat program ke dalam board Arduino. *Software* ini memungkinkan pengguna untuk membuat, mengedit, menulis kode, serta mengunggah program ke papan pengendali yang ditentukan. Arduino IDE dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman JAVA dan dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*) yang mempermudah pengoperasian *input* dan *output*. Dengan menggunakan Arduino

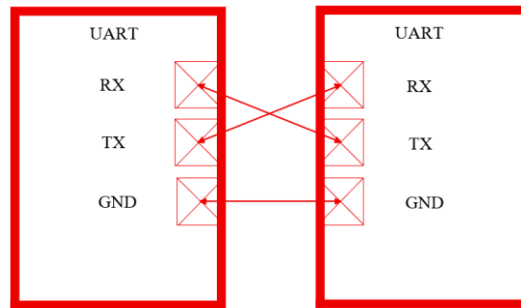
IDE, pengguna dapat memodelkan karakteristik dari parameter rangkaian analog maupun digital. Kemampuan yang dimiliki oleh Arduino IDE mencakup perancangan berbagai jenis rangkaian, pengujian rangkaian dengan kombinasi komponen yang berbeda, serta analisis karakteristik keseluruhan rangkaian, baik dalam bentuk analisis AC, DC, maupun transien [39].



Gambar 2.20 Dashboard Arduino IDE

2.26 Protokol Komunikasi UART

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) merupakan salah satu protokol komunikasi serial yang memungkinkan pertukaran data antar perangkat elektronik tanpa memerlukan sinyal *clock* bersama. Teknologi ini sering diterapkan pada sistem tertanam (*embedded systems*) dan perangkat *Internet of Things* (IoT), termasuk dalam aspek keamanan data pada ekosistem IoT. UART bekerja dengan mengubah data paralel dari sistem menjadi format serial untuk dikirim melalui jalur transmisi (TX). Di sisi penerima, data serial tersebut kemudian dikonversi kembali menjadi data paralel, dengan menghapus bit kontrol seperti bit awal (*start bit*), bit paritas (*parity bit*), dan bit akhir (*stop bit*), sebelum akhirnya diteruskan ke sistem penerima. Komunikasi UART umumnya menggunakan dua pin utama, yaitu TX (*transmit*) dan RX (*receive*), dan bersifat full-duplex, sehingga memungkinkan pengiriman dan penerimaan data secara simultan[40].



Gambar 2.21 Ilustrasi Komunikasi UART