

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Masalah	Hasil Penelitian	Kelebihan dan Kekurangan		Researcg Gap
1.	Sistem Pemilah Sampah Organik Berbasis Raspbery Pi Menggunakan Klasifikasi CNN	klasifikasi sampah organic menggunakan kan Convolutional Neural Network (CNN).	Akurasi sistem mencapai 66% prediksi benar peningkat an akurasi bisa dilakukan dengan MobileNet V2 atau ResNet.	Kelebihan: Peningkat an akurasi melalui CNN. Kekurangan: Akurasi masih rendah, bisa ditingkatkan dengan MobileNet V2 atau ResNet.	belum mengeksplora si penggunaan model Vision Transformer untuk peningkatan akurasi dan perluasan kategori sampah dalam sistem prototipe otomatis yang terintegrasi.	
2.	Pemilahan Sampah Menggunakan Model Klasifikasi Support Vector Machine	Pengguna an machine learning untuk klasifikasi sampah organik	Sistem mencapai akurasi 96,16% dengan loss 7,25%	Kelebihan: Akurasi tinggi. Kekurangan: Kombinasi model memerluk an daya	belum mengeksplora si efisiensi dan performa model Vision Transformer sebagai alternatif yang potensial dalam	

No.	Judul	Masalah	Hasil Penelitian	Kelebihan dan Kekurangan	
1.	Analisis dan Pengembangan Gabungan Convolutional Neural Network dengan Metode Klasifikasi Limbah Menggunakan Sistem Pengembangan web Berbasis Framework Flask.	anorganik.	komputasi tinggi	klasifikasi sampah dengan beban komputasi yang lebih optimal.	
3.	Sistem Klasifikasi Limbah Menggunakan Sistem Pengembangan web Berbasis Framework Flask.	Pengembangan sistem klasifikasi sampah dengan metode CNN pada aplikasi web berbasis Flask.	Akurasi tertinggi 69,77% pada 28 epoch, dan akurasi 64,45% dengan dataset berbasis Flask.	Kelebihan: Praktis untuk pengguna umum. Kekurangan: Akurasi masih rendah dan terbatas pada 9 jenis sampah	Akurasinya masih rendah dan klasifikasinya terbatas, sehingga diperlukan eksplorasi model Vision Transformer untuk meningkatkan akurasi dan memperluas jumlah kategori sampah
4.	Klasifikasi Sampah Organik dan Non-Organik Menggunakan CNN.	klasifikasi sampah organik dan anorganik menggunakan CNN.	Akurasi klasifikasi sampah anorganik mencapai 96%, sementar	Kelebihan: Dapat mendukung daur ulang. Kekurangan: Akurasi	Akurasi yang tidak konsisten antara kategori organik dan anorganik menunjukkan

No.	Judul	Masalah	Hasil Penelitian	Kelebihan dan Kekurangan	
	nakan Convolutional Neural Network		a sampah organik hanya mencapai 62%.	tidak konsisten antara kategori	perlunya pendekatan baru seperti Vision Transformer untuk hasil yang lebih seimbang.
5.	Pemilahan Jenis Sampah Menggunakan Algoritma CNN	klasifikasi sampah seperti karton, botol kaca, kain, plastik, dan kertas menggunakan CNN.	Akurasi klasifikasi sampah mencapai 83% pada pelatihan dan 61% pada validasi,	Kelebihan: Mempermudah pemilahan sampah dengan otomatisasi berbasis AI, meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah.	Akurasi validasi yang rendah menandakan perlunya eksplorasi model alternatif seperti Vision Transformer untuk meningkatkan generalisasi model.
				Kekurangan: Akurasi validasi rendah	
6.	Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Sampah Menggunakan Yolov8 Berbasis	Pengembangan sistem klasifikasi sampah otomatis dengan Yolov8 yang	YOLOv8n memberikan akurasi deteksi rata-rata 94% dan waktu komputasi 0,69 detik	Kelebihan: Real-time, efisien. Kekurangan: Terbatas pada 4 kategori sampah	Masih memiliki keterbatasan pada jumlah kategori, sehingga perlu pengembangan model yang mampu

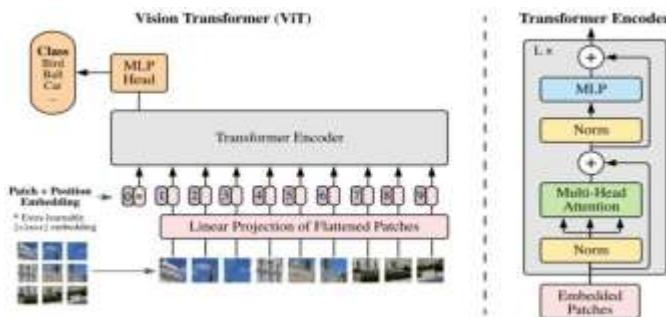
No.	Judul	Masalah	Hasil Penelitian	Kelebihan dan Kekurangan	Researcg Gap
	Raspberry Pi 4.	berjalan di Raspberry Pi 4, memisahkan sampah ke dalam 4 kategori: organik, anorganik, B3, dan residu.		menangani klasifikasi dengan lebih banyak kelas sampah secara akurat.	
7.	Implementasi YOLO versi 3 untuk Mengidentifikasi dan Mengklasifikasi sampah YOLOv3 berbasis NVIDIA Jetson Nano	klasifikasi sampah perkantoran (kertas, botol plastik, kaleng) menggunakan teknologi YOLOv3 berbasis NVIDIA Jetson Nano	Sistem menunjukkan akurasi deteksi 94%, akurasi integrasi klasifikasi 97.3%, dengan waktu komputasi tercepat pada NVIDIA Jetson Nano.	Kelebihan: Sangat cepat dan akurat untuk sampah kantor. Kekurangan: Khusus sampah kantor dan memerlukan Jetson Nano.	Masih terbatas pada jenis sampah tertentu dan ketergantungan pada perangkat keras khusus, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih fleksibel dan mampu mengenali lebih banyak kategori sampah pada sistem yang lebih umum.

Research Gap: Penelitian ini menggunakan model Vision Transformer (ViT) untuk mengklasifikasikan 12 kategori sampah secara langsung dari perangkat keras, yang merupakan pendekatan lebih kompleks dan fleksibel dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya terbatas pada 2–9 kategori sampah, seperti organik/anorganik atau jenis tertentu (kantor, rumah tangga). Berbeda dengan metode CNN dan YOLOv3/v8 yang digunakan pada penelitian terdahulu, ViT menawarkan arsitektur berbasis attention yang berpotensi meningkatkan akurasi klasifikasi dan generalisasi, terutama pada kategori yang sebelumnya menunjukkan akurasi rendah. Selain itu, penelitian ini menghindari ketergantungan pada platform khusus seperti Raspberry Pi atau Jetson Nano serta tidak bergantung pada web service, sehingga lebih efisien untuk penerapan sistem klasifikasi sampah otomatis yang real-time dan scalable.

## 2.2 Teori Terkait

### 2.2.1. Vision Transformer (ViT)

Vision Transformer (ViT) adalah arsitektur deep learning yang didasarkan pada mekanisme transformer yang awalnya dikembangkan untuk tugas Natural Language Processing (NLP). Dalam penelitian (Dosovitskiy et al., n.d.) dijelaskan rincian arsitektur Vision Transformer.



Gambar 2. 1 Arsitektur Vision Transformer (ViT) (Dosovitskiy et al., n.d.)

Pertama Pembagian Gambar menjadi Patch, gambar dibagi menjadi potongan-potongan kecil berukuran tetap (misalnya, 16x16 piksel). Setiap potongan diperlakukan sebagai token dan diratakan (flatten) pada

potongan-potongan tersebut, yang diubah menjadi urutan linear embedding. Posisi dari setiap patch dalam gambar ditambahkan agar urutan spasial tetap terjaga. Class token “0\*” berfungsi untuk klasifikasi akhir. Patch embedding yang telah diproyeksikan secara linear membentuk satu urutan vector, akan dimasukkan ke dalam Transformer Encoder. Di dalam Transformer Encoder terdiri dari beberapa blok yang melakukan proses transformasi pada urutan vektor menggunakan mekanisme multiheaded Self-Attention (MSA) dan feed-forward network. Proses ini dilakukan beberapa kali (dilambangkan dengan “ $L \times$ ”), di mana di setiap lapisan terdapat mekanisme normalisasi (Norm), multiheaded Self-Attention (MSA), dan lapisan Multi-Layer Perceptron (MLP). Terakhir, Setelah melalui beberapa lapisan Transformer Encoder, vektor yang dikaitkan dengan class token, lalu diproses oleh bagian MLP Head untuk akhirnya dapat ditentukan prediksi kelas dari gambar.

### 2.2.2. Pseudocode

Pseudocode adalah representasi kode atau algoritma yang ditulis menggunakan simbol dan bahasa yang menyerupai kode program namun tidak terkait dengan bahasa pemrograman tertentu (Halimatussya’diyah Purba & Yahfizham, 2023). Pseudocode bertujuan untuk membantu programmer atau pengguna dalam memahami dan merancang solusi masalah secara sederhana, serta sebagai panduan sebelum menulis kode program yang sebenarnya. Dengan kata-kata sederhana dan simbol yang familiar, pseudocode berfungsi sebagai alat dokumentasi, membantu penulisan algoritma, serta mempermudah penjelasan alur logika. Pseudocode juga memiliki struktur yang meliputi bagian header (judul), deskripsi variabel, dan implementasi langkah-langkah algoritmik yang berurutan, bersyarat, atau berulang.

```
program ganjil_genap

deklarasi
var number : integer

algoritma:
INPUT number
IF (number modulus 2 = 0) THEN
    OUTPUT "genap"
ELSE
    OUPUT "ganjil"
```

*Gambar 2. 2 Pseudocode Program untuk Mengklasifikasi Angka Ganjil dan Genap*

### 2.2.3. Wi-Fi Router

Router board adalah sebuah perangkat keras yang dirancang untuk berfungsi sebagai router yang bertugas mengelola lalu lintas data dalam jaringan computer (Sigmon, 2023). Router ini dilengkapi dengan sistem operasi yang dirancang khusus untuk routing, yang memungkinkan perangkat ini menjalankan berbagai tugas manajemen jaringan seperti pengaturan rute data, pengelolaan koneksi internet, firewall, VPN (Virtual Private Network), dan kontrol bandwidth.

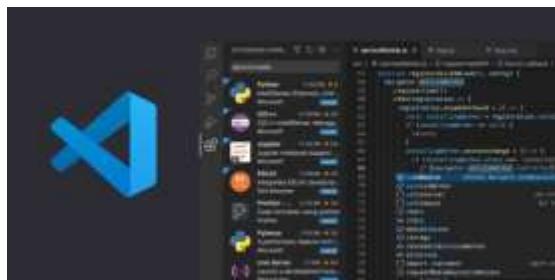
Router board biasanya digunakan dalam skala jaringan yang lebih besar, seperti di perusahaan, institusi pendidikan, atau penyedia layanan internet (ISP), di mana pengelolaan dan pengaturan jaringan yang lebih kompleks dibutuhkan. Selain berfungsi sebagai router, perangkat ini juga sering digunakan untuk fungsi lain seperti access point, bridge, atau repeater. Salah satu keunggulan router board adalah kemampuannya untuk menjalankan beberapa protokol jaringan seperti OSPF, BGP, atau MPLS, yang penting dalam jaringan dengan arsitektur yang lebih kompleks.



*Gambar 2. 3 Wi-Fi Router*

#### **2.2.4. Editor Visual Studio Code**

Visual Studio Code (VS Code) adalah sebuah teks editor yang ringan namun sangat andal, dikembangkan oleh Microsoft untuk berbagai sistem operasi multiplatform, seperti Linux, macOS, dan Windows (Ningsih, 2022). Editor ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengembang software. Visual Code mendukung berbagai bahasa pemrograman secara langsung, seperti JavaScript, TypeScript, dan Node.js. Selain itu, Visual Studio Code juga memiliki fungsionalitas yang diperluas dengan berbagai plugin atau ekstensi yang tersedia serta bahasa pemrograman lain, seperti C++, C#, Python, Go, Java, PHP.



*Gambar 2. 4 Logo dan Tampilan Visual Studio Code*

#### **2.2.5. Kategori Sampah**

Sampah memiliki karakteristik yang berbeda-beda dan dapat dikategorikan secara rinci ke dalam 12 jenis, yaitu *Battery*, *Biological waste*,

*Brown-glass, Cardboard, Clothes, Green-glass, Metal, Paper, Plastic, Shoes, White-glass, dan Trash.* Berikut adalah penjelasan lebih detail mengenai kategori-kategori tersebut:

- a. Battery: Menurut penelitian(Nurannisa et al., 2021). Secara visual, sampah baterai memiliki bentuk yang khas dan mudah dikenali. Baterai biasanya berbentuk silinder atau kotak dengan casing luar yang terbuat dari logam, sering kali berwarna perak, hitam, atau abu-abu, tergantung jenis dan merek baterai. Pada bagian atas atau bawahnya terdapat kutub positif dan negatif yang biasanya diberi tanda (+) dan (-). Ukuran baterai dapat bervariasi, dari yang kecil seperti baterai kancing (button cell) hingga yang lebih besar seperti baterai D-cell. Tanda-tanda kerusakan pada baterai bekas sering ditunjukkan oleh korosi atau kebocoran, yang terlihat sebagai cairan atau kristal putih pada permukaannya, menandakan adanya kebocoran bahan kimia berbahaya di dalamnya.



*Gambar 2. 5 Sampah Baterai*

- b. Biological Waste: Menurut penelitian (Salam & Masyarakat, n.d.). Sampah organik memiliki karakteristik visual yang khas, seperti warna yang bervariasi tergantung asalnya, dengan sisa makanan segar sering kali berwarna hijau, kuning, atau merah, sementara yang membusuk menjadi coklat atau hitam. Teksturnya cenderung lembek dan basah, terutama pada sampah sisa makanan yang memiliki kadar air tinggi, meskipun beberapa bahan seperti kulit buah mungkin lebih keras pada awalnya sebelum mengalami pembusukan. Bentuknya tidak teratur karena berasal dari berbagai jenis bahan seperti daun, kulit buah, dan sisa sayuran. Kadar air yang tinggi membuat sampah ini terlihat basah dan lembek, sementara bau busuk yang dihasilkan dari pembusukan juga sering menjadi ciri kuat dari jenis sampah ini.



*Gambar 2. 6 Sampah Organik*

- c. Brown-glass: pada penelitian (Sandi et al., 2022). Karakteristik visual sampah brown glass dapat dikenali dari warnanya yang khas, yaitu coklat tua. Warna ini dihasilkan melalui penambahan senyawa seperti sulfur dan karbon saat proses pembuatan kaca, yang memberikan sifat perlindungan terhadap cahaya. Botol kaca berwarna coklat biasanya digunakan untuk menyimpan produk yang sensitif terhadap cahaya, seperti minuman beralkohol dan obat-obatan, karena kaca berwarna coklat mampu menghalangi sinar ultraviolet. Teksturnya licin dan mengilap, dengan permukaan yang keras dan mudah pecah menjadi pecahan-pecahan tajam jika tidak ditangani dengan hati-hati. Ketika mengalami kerusakan, pecahan kaca ini dapat menciptakan risiko bahaya karena sifatnya yang tajam dan berpotensi melukai. Pengelolaan sampah brown glass penting untuk menghindari kontaminasi lingkungan dan bahaya fisik di tempat pembuangan.



*Gambar 2. 7 Sampah Brown-Glass*

- d. Cardboard: pada penelitian (Sandi et al., 2022). Umumnya, kardus berwarna coklat muda atau beige, dan permukaannya halus meskipun kadang memiliki tekstur, terutama pada kardus bergelombang yang memiliki lapisan bergelombang di antara dua lapisan datar. Kardus dapat terlihat sobek atau frayed di bagian tepi, terutama pada lipatan atau bekas penggunaan. Tanda-tanda seperti cetakan atau label juga sering terlihat pada kardus.



*Gambar 2. 8 Sampah Kardus*

- e. Clothes: Karakteristik visual sampah clothes atau limbah tekstil mencakup berbagai variasi berdasarkan jenis bahan yang digunakan. Secara umum, limbah tekstil berasal dari tiga sumber utama: bahan alami (seperti katun dan wol), bahan buatan (seperti viscose), dan bahan sintetis (seperti poliester dan nilon). Dari segi visual, limbah pakaian ini sering kali berbentuk kain dengan berbagai tekstur, warna, dan pola (Bonifazi et al., 2024).



*Gambar 2. 9 Sampah Pakaian*

- f. Green-glass: Green glass biasanya memiliki permukaan yang halus dan mengkilap dengan bentuk melingkar atau silindris, serta cukup berat karena merupakan material kaca. Secara visual, green-glass yang dibuang mungkin memiliki tepi yang tajam dan bervariasi dalam ukuran (Sandi et al., 2022).



*Gambar 2. 10 Sampah Green-Glass*

- g. Metal: Pada penelitian(Sandi et al., 2022). Karakteristik visual sampah metal (logam) umumnya ditandai dengan permukaan yang berkilau atau mengkilat, tergantung pada jenis logamnya. Logam ferrous seperti besi dan baja sering kali tampak berkarat atau kusam jika sudah terpapar elemen lingkungan, sedangkan logam non-ferrous seperti aluminium dan tembaga cenderung tetap memiliki kilauan yang lebih tahan lama. Sampah logam sering kali berasal dari produk seperti kaleng, komponen elektronik, atau sisa konstruksi.



*Gambar 2. 11 Sampah Logam*

- h. Paper: Sampah kertas merupakan jenis limbah yang banyak dijumpai di berbagai lokasi, termasuk perkantoran, usaha fotokopi, sekolah, dan pertokoan. Contoh dari sampah kertas ini meliputi koran, kertas bungkus nasi, dan berbagai bentuk lembaran lainnya. Karakteristik

visualnya mencakup tekstur yang kuat dan kerapatan yang dapat bervariasi, tergantung pada jenis kertasnya (Hawari et al., 2020).



*Gambar 2. 12 Sampah Kertas*

- i. Plastic: Menurut penelitian (Sandi et al., 2022). Secara visual, plastik sering memiliki warna-warna cerah dan bervariasi, termasuk transparan, hitam, biru, merah, dan kuning, tergantung pada jenisnya. Sampah plastik juga seringkali terlihat mengkilap dan dapat terlipat.



*Gambar 2. 13 Sampah Plastik*

- j. Shoes: Secara visual, sampah sepatu memiliki berbagai bentuk dan ukuran, tergantung pada jenis sepatunya (seperti sneakers, sepatu kulit, atau sepatu olahraga). Sampah sepatu juga sering kali kotor karena penggunaan dan pengaruh lingkungan sebelum dibuang. Karena terbuat dari bahan yang tidak mudah terurai, sepatu memerlukan waktu lama untuk terdegradasi di lingkungan.



*Gambar 2. 14 Sampah Sepatu*

- k. White-glass: Sampah white glass (kaca putih) biasanya berasal dari berbagai produk berbahan kaca, seperti botol, gelas minum, dan kemasan yang memiliki tampilan jernih atau transparan. Karakteristik visual dari kaca putih adalah permukaannya yang halus, tidak berwarna, dan transparan, serta biasanya lebih tebal dan kuat dibandingkan kaca berwarna lainnya (Mohd Noor & Leman, 2020).



*Gambar 2. 15 Sampah White-Glass*

- I. Trash: sampah jenis ini biasanya tidak beraturan, dengan berbagai bentuk dan ukuran. Materialnya bisa terdiri dari plastik keras, kain sintetik, atau bahkan potongan kecil logam dan bahan lain yang tidak dikenali. Warna dan tekstur sangat bervariasi, tergantung pada jenis produk atau material yang dibuang. Sebagai sampah residu, kategori ini sering kali merupakan bagian dari barang-barang yang sudah tidak bisa digunakan kembali dan tidak dapat didaur ulang dengan metode standar (Milutinović et al., 2017)

## **2.2.6. Prototype**

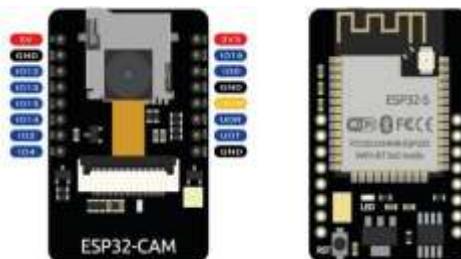
Prototype adalah model atau rancangan awal dari suatu produk yang digunakan untuk menguji konsep atau proses kerja sebelum produk

final dikembangkan (Setiawan, 2021). Prototipe membantu mengidentifikasi kesalahan atau kekurangan produk pada tahap awal pengembangan, sehingga pengembang dapat memperbaikinya sebelum fitur lain diimplementasikan. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan produk memenuhi kebutuhan pengguna dengan menerima umpan balik yang berharga selama proses pengujian. Manfaat dari penggunaan prototipe termasuk penghematan waktu dan biaya, memahami kebutuhan pengguna lebih awal, menjadi acuan pengembangan produk, serta memudahkan presentasi konsep kepada audiens. Contoh prototipe meliputi paper prototype (rancangan sederhana di atas kertas), low-fidelity prototype (sketsa tampilan dan alur produk), dan high-fidelity prototype (model mendekati produk asli, namun lebih memakan waktu untuk dibuat).



*Gambar 2. 16 Prototype Smart Home*

a. **ESP32-CAM**



*Gambar 2. 17 ESP32-CAM*

Modul ESP32-CAM adalah modul kamera kecil yang dilengkapi dengan WiFi, Bluetooth, dan GPIO yang dapat berfungsi sebagai input atau output (Elga Aris Prastyo, 2022). Modul ini beroperasi secara mandiri dengan ukuran hanya 27 x 40,5 x 4,5 mm dan konsumsi arus hingga 6 mA. Modul ini dikembangkan oleh Espressif dan AI-Thinker, dilengkapi dengan kamera OV2640 beresolusi 2MP untuk mengambil foto atau video, serta modul microSD untuk menyimpan data. Untuk pemrograman, ESP32-CAM menggunakan Arduino IDE, namun memerlukan perangkat tambahan seperti modul FTDI atau serial-to-USB karena tidak memiliki uploader bawaan.

**b. Conveyor Belt**

Belt conveyor adalah alat yang digunakan untuk memindahkan barang dalam jumlah besar atau barang berat secara cepat dan efisien, membantu meminimalkan penggunaan tenaga manusia dalam proses produksi (PT. Environeer, n.d.). Sistem ini menggunakan sabuk yang bergerak untuk memindahkan produk, mendukung berbagai fungsi seperti sortir, pengemasan, pendinginan, distribusi, pelabelan, dan penimbangan otomatis. Belt conveyor sangat dibutuhkan di industri, misalnya dalam pengolahan bahan tambang, distribusi produk, atau menjaga kualitas produk selama proses produksi. Belt conveyor juga dilengkapi dengan berbagai komponen seperti pulley, roller, dan cleaner untuk memastikan kinerja yang optimal.



*Gambar 2. 18 Conveyor Belt*

**c. Motor Servo**

Motor servo adalah jenis motor yang dapat bergerak dalam dua arah, yaitu searah jarum jam (Clockwise, CW) dan berlawanan arah jarum jam (Counter-Clockwise, CCW) (Marjan & Mukhaiyar, 2020). Motor ini memiliki kemampuan untuk mengontrol arah dan sudut pergerakan rotornya secara presisi. Pengendalian ini dilakukan dengan memberikan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) pada pin sinyal motor servo. Duty cycle dari sinyal PWM tersebut akan menentukan sudut rotasi motor. Sebagai contoh, lebar pulsa yang berbeda bisa mengatur posisi sudut rotor ke titik yang diinginkan, seperti 0°, 90°, atau 180°, tergantung pada konfigurasi sinyal yang diberikan. Ini menjadikan motor servo sangat berguna dalam aplikasi yang memerlukan pengaturan sudut dengan akurasi tinggi.



*Gambar 2. 19 Motor Servo*

Motor servo biasanya memiliki ruang gerak yang terbatas, umumnya hingga 180°, meskipun ada varian yang bisa berputar hingga 360°. Selain itu, motor ini dilengkapi dengan mekanisme umpan balik (feedback) yang memungkinkan pengoreksian posisi jika terjadi perbedaan antara posisi yang diinginkan dan posisi aktual. Oleh karena itu, motor servo banyak digunakan dalam robotika, sistem otomasi, pesawat model, dan perangkat lain yang membutuhkan pergerakan mekanis presisi.

#### **d. Kabel Jumper**

Kabel jumper adalah jenis kabel penghubung yang sering digunakan dalam rangkaian elektronik, khususnya untuk menyambungkan komponen seperti Arduino Uno, sensor, dan

breadboard (Irawan, 2022). Fungsinya adalah untuk menghantarkan arus listrik atau sinyal dari satu titik ke titik lain, sehingga memungkinkan terjadinya komunikasi antar perangkat dalam suatu rangkaian. Kabel ini dibuat dari material logam konduktor yang dapat mengalirkan arus listrik. Ada tiga jenis kabel jumper berdasarkan konektornya, yaitu:

1. Kabel jumper male-to-male: Kabel ini memiliki ujung konektor male pada kedua sisinya, dan sangat cocok digunakan untuk menyambungkan komponen ke breadboard. Biasanya, kabel jenis ini banyak dipakai dalam eksperimen menggunakan breadboard dan Arduino.



*Gambar 2. 20 Kabel Jumper Male to Male*

2. Kabel jumper male-to-female: Kabel jenis ini memiliki ujung male pada satu sisi dan ujung female pada sisi lainnya. Kabel ini sering digunakan untuk menghubungkan komponen selain Arduino ke breadboard atau perangkat lain.



*Gambar 2. 21 Kabel Jumper Male to Female*

3. Kabel jumper female-to-female: Kabel ini memiliki konektor female di kedua ujungnya, yang berguna untuk menghubungkan dua komponen yang memiliki header male, seperti sensor ultrasonik HC-SR04 atau sensor suhu DHT. Jenis kabel ini sangat membantu dalam menyambungkan perangkat dengan pin male ke komponen lain tanpa memerlukan adapter tambahan.



*Gambar 2. 22 Kabel Jumper Female to Female*

e. **Modul PCA9685**

Modul PCA9685 adalah pengendali sinyal PWM (Pulse Width Modulation) dengan 16 saluran, yang memungkinkan mikrokontroler untuk mengontrol hingga 16 perangkat seperti motor servo secara bersamaan (Paryanto et al., 2024). Modul ini beroperasi melalui antarmuka komunikasi I2C, yang hanya membutuhkan dua pin pada mikrokontroler, yaitu SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock), untuk mengirimkan perintah. PCA9685 dirancang untuk menyediakan sinyal PWM yang stabil dan terpisah ke setiap servo atau perangkat lain yang memerlukan kontrol sinyal. Modul ini juga dapat beroperasi dengan tegangan yang berbeda (biasanya 5V atau 3.3V), sehingga kompatibel dengan berbagai mikrokontroler seperti ESP32-CAM. Penggunaan PCA9685 sangat membantu dalam proyek yang memerlukan kontrol banyak motor servo atau LED, karena mengurangi kebutuhan akan pin I/O pada mikrokontroler.



*Gambar 2. 23 Modul PCA9685*