

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penulisan tinjauan pustaka didasari dari referensi penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan perancangan alat yang akan dikembangkan dan dibuat oleh saya sebagai penulis. Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan diperoleh referensi jurnal terdahulu yaitu jurnal yang berjudul seperti di Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Referensi Jurnal sebagai Tinjauan Pustaka

Judul Penelitian	Keterangan Jurnal	Kelemahan	Alasan Pemilihan
Perancangan Laser Keamanan Rumah Menggunakan Sensor LDR Berbasis Arduino Uno <i>(Jurnal Cakrawala Akademika, Vol. 1 No. 4, 2024)</i>	Menggunakan kombinasi laser dan sensor LDR yang terhubung ke Arduino Uno. Sistem mendeteksi perubahan sinar laser akibat gangguan (penyusup), lalu memicu <i>buzzer</i> sebagai alarm. Akurasi deteksi mencapai 95% dalam kondisi cahaya normal. [9]	Respons cepat namun tanpa kamera atau klasifikasi objek. Belum mendukung tindakan otomatis terhadap objek terdeteksi.	Membahas mengenai sistem keamanan yang memiliki output laser dan penggunaan mikrokontroler.
Rancang Bangun Sistem	Menggunakan kamera CCTV dan	Mendeteksi titik tembak	Menggunakan <i>image processing</i>

<p>Informasi Hasil Perkenaan Tembakan pada Lesan Tembak Koreksi Jarak 25 Meter Berbasis <i>Image Processing</i> (Seminar Nasional FORTEI VII, 2017)</p>	<p><i>image processing</i> (Delphi) untuk mendeteksi titik perkenaan peluru pada lesan tembak. Menghitung koordinat titik rata-rata (TKRR) dan <i>probability of hit</i> (PH). Sistem membantu koreksi senjata otomatis.[10]</p>	<p>otomatis, namun tidak dilengkapi aksi fisik terhadap objek. Perlu pengembangan ke sistem pelumpuhan otomatis.</p>	<p>untuk mendeteksi posisi atau titik target.</p>
<p>Pengembangan Sistem Elektroplating Berbasis <i>Image Processing</i> (Jurnal EPIC, Univ. Pamulang, 2018)</p>	<p>Menggunakan metode HSV, <i>flood fill</i>, dan <i>get pixel</i> untuk menghitung luas objek yang akan dilapisi. Data piksel dikalibrasi untuk menghitung luasan sebenarnya. Sistem berbasis <i>image processing</i> dan <i>software Delphi</i>. [11]</p>	<p>Sistem hanya mendeteksi objek statis dan tidak mendukung aksi otomatis, berbeda dengan sistem keamanan <i>real-time</i> yang dikembangkan dalam tugas akhir ini.</p>	<p>Menggunakan metode HSV dan Delphi yang sesuai dengan sistem deteksi warna pada tugas akhir ini.</p>

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital adalah salah satu metode dalam bidang komputer yang memungkinkan interpretasi dan manipulasi citra melalui representasi data piksel dua dimensi. Dalam implementasinya pada sistem keamanan, teknologi ini

memainkan peran utama dalam proses pendeteksian visual, khususnya untuk mengidentifikasi objek yang muncul di area pengawasan. Gambar yang ditangkap oleh kamera web akan diproses secara langsung melalui serangkaian tahapan seperti konversi ke ruang warna tertentu, segmentasi objek, serta penerapan *threshold* untuk mengisolasi objek yang diinginkan berdasarkan nilai warna atau intensitas [12].

Data hasil pemrosesan ini kemudian diteruskan ke mikrokontroler seperti Arduino, yang berfungsi sebagai pengendali aktuator seperti laser atau motor penggerak untuk merespons kondisi yang terdeteksi [13]. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif untuk sistem otomatis, baik yang difokuskan pada pelacakan pergerakan objek [14], [15], maupun pada kontrol akses seperti pintu otomatis berbasis pengenalan warna pelat kendaraan [16]. Dalam beberapa aplikasi lainnya, sistem pengolahan citra juga dikombinasikan dengan algoritma pembandingan citra, klasifikasi visual, dan notifikasi otomatis sebagai bentuk respon tambahan terhadap ancaman [17].

Secara keseluruhan, pemanfaatan kamera sebagai sensor utama menjadikan sistem ini mampu bekerja secara mandiri dalam mendeteksi dan merespons dinamika lingkungan secara cepat dan tepat [18]. Dengan demikian, teknologi pengolahan citra digital sangat relevan untuk mendukung sistem keamanan berbasis visual yang dikembangkan dalam proyek tugas akhir ini.

2.3 OpenCV 2.4.13.6

OpenCV atau *Open Source Computer Vision Library* merupakan pustaka terbuka yang digunakan dalam bidang pengolahan citra digital dan visi komputer. Pustaka ini menyediakan berbagai fungsi untuk membaca, mengolah, menganalisis, dan menampilkan citra maupun video secara *real-time*. Dalam penerapannya, OpenCV dapat digunakan untuk proses konversi ruang warna, segmentasi citra, *thresholding*, *filtering*, pencarian kontur, pelacakan objek, dan pengenalan pola. Oleh karena itu, OpenCV sesuai digunakan pada sistem yang membutuhkan proses pendeteksian objek berbasis kamera. [19].

Pada tugas akhir ini, OpenCV digunakan melalui Delphi-OpenCV, yaitu pustaka yang memungkinkan fungsi-fungsi OpenCV diterapkan dalam bahasa

pemrograman Delphi. Beberapa unit yang digunakan dalam proses *image processing* adalah `ocv.core_c`, `ocv.imgproc_c`, `ocv.imgproc.types_c`, dan `ocv.utils`. Penggunaan unit tersebut disesuaikan dengan kebutuhan sistem, yaitu untuk mengolah citra dari kamera, mengubah ruang warna, memisahkan objek berdasarkan warna, mencari kontur, serta menampilkan hasil deteksi pada antarmuka aplikasi. [20]

Unit `ocv.core_c` berfungsi untuk mendukung operasi dasar pada citra, seperti pengelolaan struktur data citra, operasi array, dan pembentukan citra hasil. Unit ini juga mendukung proses pemisahan piksel berdasarkan rentang nilai tertentu, sehingga dapat digunakan dalam tahap segmentasi warna. Dalam sistem ini, hasil segmentasi digunakan untuk membedakan piksel objek target dengan latar belakang. [20]

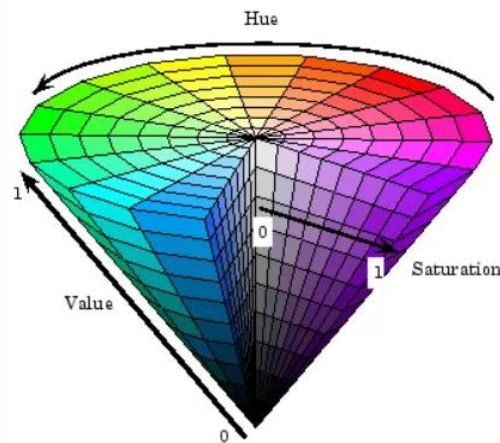
Unit `ocv.imgproc_c` digunakan untuk proses utama pengolahan citra, seperti konversi warna, *thresholding*, *filtering*, dan pencarian kontur. Pada sistem yang dirancang, citra dari kamera dikonversi dari ruang warna RGB ke HSV agar objek dapat dikenali berdasarkan rentang warna tertentu. Setelah itu, citra diproses menjadi citra biner, diperhalus menggunakan *Gaussian filter*, lalu dianalisis untuk menemukan kontur objek. [21]

Unit `ocv.imgproc.types_c` digunakan untuk menyediakan tipe data dan konstanta yang diperlukan dalam proses pengolahan citra. Konstanta tersebut digunakan untuk menentukan jenis konversi warna, metode *filtering*, mode pencarian kontur, serta metode penyederhanaan bentuk kontur. Sementara itu, unit `ocv.utils` berperan sebagai pendukung dalam pengelolaan dan penampilan citra pada aplikasi Delphi, sehingga citra asli, citra HSV, dan citra biner dapat ditampilkan pada antarmuka. [21]

Dengan penggunaan library tersebut, proses OpenCV pada tugas akhir ini meliputi pengambilan citra dari kamera, konversi RGB ke HSV, penentuan rentang warna objek, segmentasi warna, pembentukan citra biner, penerapan *Gaussian filter*, pencarian kontur, serta perhitungan titik pusat objek dalam bentuk koordinat X dan Y. Koordinat tersebut kemudian digunakan sebagai data posisi objek pada sistem pelacakan. [22]

2.4 Model Warna HSV (Hue, Saturation, Value)

Model warna HSV (*Hue, Saturation, Value*) merupakan salah satu representasi warna yang dirancang untuk menyerupai persepsi warna manusia. HSV dikembangkan sebagai alternatif dari model RGB (*Red, Green, Blue*), yang lebih teknis dan tidak intuitif dalam menggambarkan warna sesuai pengalaman manusia. HSV digunakan secara luas dalam bidang pengolahan citra dan grafika komputer karena memberikan kontrol yang lebih alami atas manipulasi warna, seperti dalam pengaturan pencahayaan, pewarnaan objek, dan segmentasi warna dalam citra digital [23]. Untuk ruang warna HSV (*Hue, Saturation, Value*) dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.
























Gambar 2.1 Ruang Warna HSV [23]

Hue (H) merepresentasikan jenis warna dasar yang dirasakan manusia, seperti merah, kuning, hijau, biru, dan sebagainya. Hue dinyatakan dalam derajat (0° – 360°) pada lingkaran warna, di mana 0° mewakili warna merah, 120° mewakili hijau, dan 240° mewakili biru. Dengan menentukan nilai *hue*, kita bisa mengidentifikasi kategori warna utama suatu piksel atau objek, yang sangat berguna dalam aplikasi deteksi objek berdasarkan warna [24].

Saturation (S) menunjukkan tingkat kejenuhan atau kemurnian warna. Nilai saturasi berkisar dari 0% (abu-abu sepenuhnya, tanpa warna) hingga 100% (warna paling jenuh atau murni). Saturasi penting dalam membedakan warna yang cerah dan mencolok dengan warna yang lembut atau pudar. Dalam pengolahan citra, manipulasi saturasi sering digunakan untuk menyesuaikan tampilan visual,

misalnya memperkuat kontras warna dalam citra digital atau menghilangkan dominansi warna tertentu [25]

Value (V) atau sering disebut juga sebagai *Brightness* atau *Lightness*, mencerminkan kecerahan warna dari gelap ke terang. Nilai *value* berada dalam rentang 0 (hitam total) hingga 100% (putih penuh atau warna paling terang). Dalam citra, perubahan nilai V berpengaruh langsung pada intensitas cahaya yang ditampilkan tanpa mengubah warna dasarnya. Kombinasi dari ketiga komponen HSV ini memungkinkan representasi warna yang lebih fleksibel dan intuitif dibandingkan model RGB dalam banyak aplikasi grafis dan pengolahan video [26].

Nama	Contoh	Kode warna	RGB			CMYK	HSV
Abu-abu		#808080	128	128	128	58, 50, 47, 0	0, 0, 50
Biru		#0000FF	0	0	255	95, 73, 0, 0	240, 100, 100
Biru dongker		#000080	0	0	128	100, 99, 56, 46	240, 100, 50
Biru laut (Sian)		#00FFFF	0	255	255	100, 0, 0, 0	180, 100, 100
Coklat		#964B00	150	75	0	59, 82, 100, 43	30, 100, 59
Emas		#FFD700	255	215	0	0, 17, 94, 0	51, 100, 100
Hijau		#00FF00	0	255	0	62, 0, 100, 0	120, 100, 100
Hitam		#000000	0	0	0	93, 88, 89, 90	0, 0, 0
Kuning		#FFFF00	255	255	0	0, 0, 255, 0	60, 100, 100
Magenta		#FF00FF	255	0	255	0, 100, 0, 0	300, 100, 100
Mawar		#FF007F	255	0	127	0, 100, 50, 0	330, 100, 100
Merah		#FF0000	255	0	0	0, 255, 255, 0	0, 100, 100
Merah marun		#800000	128	0	0	0, 255, 255, 127	0, 100, 50
Merah jambu		#FFC0CB	255	192	203	0, 63, 52, 0	350, 25, 100
Nila		#6F00FF	111	0	255	57, 100, 0, 0	266, 100, 100
Jingga		#FF7F00	255	127	0	0, 50, 100, 0	30, 100, 100
Perak		#C0C0C0	192	192	192	0, 0, 0, 63	0, 0, 75
Putih		#FFFFFF	255	255	255	0, 0, 0, 0	0, 0, 100
Ungu		#BF00FF	191	0	255	25, 100, 0, 0	285, 100, 100
Violet		#8F00FF	143	0	255	44, 255, 0, 0	274, 100, 100
Zaitun		#808000	128	128	0	0, 0, 100, 50	60, 100, 50

Gambar 2.2 Konversi RGB ke HSV

Transformasi warna dari model RGB ke HSV merupakan langkah penting dalam pemrosesan citra karena memungkinkan representasi warna yang lebih dekat dengan persepsi manusia, yang mana dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada prinsipnya, setiap piksel citra yang semula memiliki komponen intensitas merah (R), hijau (G), dan biru (B) akan dinormalisasi kemudian dihitung nilai Hue (H),

Saturation (S), dan Value (V) melalui operasi matematis tertentu yang mempertimbangkan nilai maksimum dan minimum dari R, G, dan B sebagai dasar perhitungan nilai H, S, dan V. Nilai H biasanya dinyatakan dalam derajat [0–360], sedangkan nilai S dan V dinyatakan sebagai proporsi kejenuhan dan intensitas kecerahan masing-masing piksel. Proses konversi ini memastikan bahwa warna ditransformasikan dari bentuk campuran cahaya (RGB) ke bentuk representasi yang lebih intuitif, sehingga mempermudah analisis warna selanjutnya dalam sistem pengolahan citra digital.

Konversi RGB ke HSV dilakukan dengan mengubah nilai komponen warna merah, hijau, dan biru menjadi nilai Hue, Saturation, dan Value. Nilai RGB terlebih dahulu dinormalisasi ke rentang 0 sampai 1, kemudian ditentukan nilai maksimum dan minimum dari ketiga komponen tersebut.

Misalkan:

$$R' = R / 255 \quad (2.1)$$

$$G' = G / 255 \quad (2.2)$$

$$B' = B / 255 \quad (2.3)$$

$$Cmax = \max(R', G', B') \quad (2.4)$$

$$Cmin = \min(R', G', B') \quad (2.5)$$

$$\Delta = Cmax - Cmin \quad (2.6)$$

Nilai Hue dihitung berdasarkan komponen warna yang memiliki nilai maksimum.

$$\text{Apabila } \Delta = 0, \text{ maka } H = 0. \quad (2.7)$$

$$\text{Apabila } Cmax = R', \text{ maka } H = 60^\circ \times (((G' - B') / \Delta) \bmod 6). \quad (2.8)$$

$$\text{Apabila } Cmax = G', \text{ maka } H = 60^\circ \times (((B' - R') / \Delta) + 2). \quad (2.9)$$

$$\text{Apabila } Cmax = B', \text{ maka } H = 60^\circ \times (((R' - G') / \Delta) + 4). \quad (2.10)$$

Nilai Saturation dihitung menggunakan persamaan:

$$S = 0, \text{ apabila } Cmax = 0 \quad (2.11)$$

$$S = \Delta / Cmax, \text{ apabila } Cmax \neq 0 \quad (2.12)$$

Nilai Value dihitung menggunakan persamaan:

$$V = Cmax \quad (2.13)$$

Berdasarkan rumus tersebut, warna biru murni dengan nilai RGB 0, 0, 255 akan menghasilkan nilai HSV sebesar 240°, 100%, 100% secara teori. Namun, pada

penerapan OpenCV, nilai Hue pada citra 8-bit dinyatakan dalam rentang 0–179, sedangkan Saturation dan Value berada pada rentang 0–255. Oleh karena itu, nilai HSV yang digunakan dalam program mengikuti skala OpenCV, bukan hanya skala derajat 0–360 secara teori.

2.5 Delphi 10.4.2

Delphi 10.4.2 adalah lingkungan pengembangan perangkat lunak (*Integrated Development Environment/IDE*) berbasis bahasa pemrograman *Object Pascal* yang dikembangkan oleh Embarcadero. Delphi dikenal karena kemampuannya membangun aplikasi desktop dengan antarmuka grafis yang kuat, efisien, dan mudah dikustomisasi. Versi 10.4.2 (Sydney) menghadirkan banyak pembaruan, termasuk peningkatan stabilitas, dukungan lintas platform (*Windows, Android, iOS*), serta integrasi komponen visual yang memudahkan pengembangan aplikasi berbasis pemrosesan data, komunikasi serial, dan pengolahan gambar.

Salah satu keunggulan Delphi 10.4.2 adalah *Visual Component Library* (VCL) dan *FireMonkey* (FMX), yang memudahkan pembuatan antarmuka grafis tanpa harus menulis banyak kode secara manual. Delphi juga menyediakan dukungan langsung terhadap komunikasi serial (COM port), akses ke *webcam* menggunakan pustaka pihak ketiga (seperti VideoLab atau OpenCV for Delphi), serta integrasi mudah dengan *port* komunikasi mikrokontroler seperti Arduino. Delphi sering digunakan untuk aplikasi industri, kontrol perangkat keras, dan sistem visualisasi data karena kemampuannya dalam mengelola peristiwa waktu nyata.

Dalam sistem yang dirancang, Delphi 10.4.2 tidak hanya berfungsi sebagai tampilan antarmuka, tetapi juga sebagai pusat pemrosesan visual dan pengambilan keputusan. Peran ini menjadi krusial karena semua proses utama—mulai dari deteksi objek, kalkulasi koordinat, hingga pengiriman sinyal kontrol ke mikrokontroler, berasal dari logika yang dibangun di dalam *platform* Delphi. Tanpa kemampuan integratif dan respon *real-time* dari Delphi, koordinasi antara kamera, mikrokontroler, dan aktuator tidak akan berjalan secara sinkron dan akurat.

2.6 RAD Studio

RAD Studio merupakan lingkungan pengembangan perangkat lunak atau *Integrated Development Environment* (IDE) yang dikembangkan oleh Embarcadero. Perangkat lunak ini menyediakan fasilitas untuk membuat aplikasi berbasis antarmuka grafis secara cepat melalui metode *Rapid Application Development* (RAD). Di dalam RAD Studio terdapat beberapa bahasa pemrograman, seperti Delphi dan C++ Builder. Namun, pada tugas akhir ini bahasa yang digunakan adalah Delphi, sedangkan C++ Builder tidak digunakan secara langsung dalam pembuatan sistem. [27].

Dalam tugas akhir ini, RAD Studio berfungsi sebagai perangkat pengembangan aplikasi simulasi dan antarmuka sistem. Aplikasi yang dibuat melalui Delphi digunakan untuk menampilkan citra dari kamera, mengatur parameter deteksi warna, memproses citra menggunakan library OpenCV, menampilkan koordinat objek, serta mengirimkan data hasil deteksi ke mikrokontroler. Dengan adanya RAD Studio, proses pembuatan tampilan aplikasi dan integrasi antara pengolahan citra dengan perangkat keras dapat dilakukan lebih mudah dan terstruktur. [28].

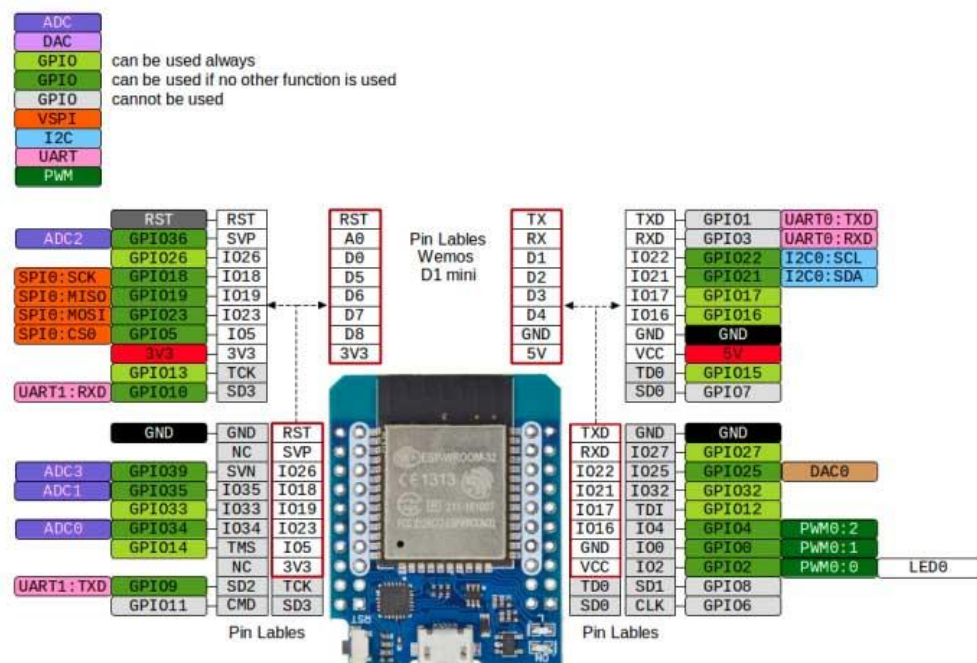
RAD Studio juga mendukung penggunaan komponen *visual* seperti tombol, *trackbar*, kotak teks, dan area tampilan citra yang dibutuhkan dalam antarmuka aplikasi deteksi. Komponen tersebut digunakan untuk membantu pengguna dalam mengatur nilai HSV, melihat hasil citra asli, citra hasil segmentasi, serta memantau posisi objek yang terdeteksi. Oleh karena itu, RAD Studio pada tugas akhir ini berperan sebagai lingkungan pengembangan aplikasi pendukung sistem *image processing*, bukan sebagai perangkat keras utama pada alat. [27], [28].

2.7 ESP 32 Mini – D1

ESP32 Mini D1 atau D1 Mini32 merupakan papan pengembangan berbasis mikrokontroler ESP32 yang umum digunakan pada sistem Internet of Things, sistem kendali, monitoring sensor, dan aktuator. Secara teknis, istilah ESP32 Mini D1 merujuk pada development board, bukan nama IC utama. IC atau SoC utamanya adalah ESP32, sedangkan pada beberapa board digunakan modul seperti ESP32-

WROOM-32. PlatformIO mencatat board WEMOS D1 MINI ESP32 menggunakan mikrokontroler ESP32, frekuensi 240 MHz, flash 4 MB, dan RAM 320 KB.

ESP32 adalah *System-on-Chip/SoC* yang menggabungkan unit pemrosesan, memori, Wi-Fi, *Bluetooth*, GPIO, ADC, DAC, PWM, SPI, I2C, UART, serta *fitur* manajemen daya dalam satu chip. *Espressif* menjelaskan bahwa ESP32 merupakan chip kombinasi Wi-Fi 2,4 GHz dan *Bluetooth* berbasis teknologi *low-power* 40 nm yang dirancang untuk kebutuhan performa RF, reliabilitas, dan aplikasi dengan berbagai skenario daya. Pin in dan pin out pada ESP32 MINI D1 dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pin in dan out ESP 32 MINI – D1

Tabel 2.2 Spesifikasi Mikrokontroler ESP 32 MINI – D1

Parameter	Spesifikasi yang Dicantumkan
Nama board	ESP32 Mini D1 / WEMOS D1 MINI ESP32 / D1 Mini32
Mikrokontroler	ESP32
Tegangan kerja logika	3,3 V
Tegangan input board	5 V melalui USB/VIN atau 3,3 V melalui pin 3V3

Arus catu daya rekomendasi	Minimal 500 mA
Pin input yang digunakan	Disesuaikan dengan sensor/masukan alat
Pin output yang digunakan	GPIO18 dan GPIO19 sebagai output PWM servo
Komunikasi	Wi-Fi untuk pengiriman/penerimaan data nirkabel

Dalam alat tugas akhir, ESP32 Mini D1 relevan karena memiliki kemampuan input-output yang cukup fleksibel. Dapat dilihat dari spesifikasi didalam Tabel 2.2. ESP32 memiliki 34 GPIO pada tingkat chip, tetapi pada board Mini D1 tidak semua GPIO selalu dikeluarkan ke pin header, sehingga pemilihan pin harus mengikuti pinout board yang digunakan. GPIO ESP32 dapat digunakan untuk input digital, output digital, interrupt, komunikasi serial, PWM, serta antarmuka sensor.

Pada komunikasi data, ESP32 mendukung Wi-Fi 802.11 b/g/n 2,4 GHz hingga 150 Mbps, Bluetooth v4.2 BR/EDR, serta Bluetooth Low Energy. Dengan fitur ini, ESP32 dapat digunakan untuk mengirim data sensor ke server, aplikasi mobile, dashboard IoT, atau cloud tanpa modul Wi-Fi tambahan.

2.8 Servo TD8120MG

Motor servo TD8120MG, seperti pada Gambar 2.4, merupakan motor servo digital tipe *high torque* yang digunakan sebagai aktuator untuk menghasilkan gerakan sudut secara terkontrol. Berbeda dengan motor DC biasa yang berputar terus-menerus, motor servo bekerja berdasarkan sinyal kendali berupa PWM/*Pulse Width Modulation* sehingga posisi poros dapat diatur pada sudut tertentu. Pada sistem tugas akhir, servo ini dapat digunakan untuk menggerakkan mekanisme tertentu, misalnya pengarah, lengan, dudukan sensor, atau aktuator yang membutuhkan pengaturan posisi.

Secara kelistrikan, servo TD8120MG bekerja pada rentang tegangan sekitar 4,8–8,4 V berdasarkan salah satu datasheet, dengan torsi puncak 20,5 kg·cm pada 4,8 V dan 22,8 kg·cm pada 8,4 V. Arus stall atau arus saat motor tertahan dapat mencapai sekitar 2100 mA $\pm 10\%$ pada 4,8 V dan 2700 mA $\pm 10\%$ pada 8,4 V. Ini penting untuk alat TA karena servo tidak boleh langsung diberi daya dari pin 5V

ESP32 atau port USB laptop. Servo sebaiknya menggunakan catu daya eksternal yang cukup kuat, sedangkan ground servo dan ground ESP32 harus disatukan.



Gambar 2.4 Motor Servo TD8120MG

Pengendalian servo dilakukan melalui tiga kabel utama, yaitu merah sebagai VCC/positif, coklat sebagai GND/negatif, dan oranye sebagai sinyal PWM. Sinyal kontrol servo TD8120MG menggunakan lebar pulsa sekitar 500–2500 μ s, dengan posisi tengah pada 1500 μ s. TinyTronics juga mencatat bahwa input sinyal servo berada pada rentang 3–5 V, sehingga sinyal PWM dari ESP32 yang berlogika 3,3 V masih berada dalam rentang input sinyal servo. Untuk spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Servo TD8120MG

Parameter	Spesifikasi Penting
Nama komponen	Motor Servo TD8120MG / TD-8120MG Digital Servo
Jenis aktuator	Motor servo digital high torque
Tegangan kerja	4,8–8,4 V DC
Arus kerja tanpa beban	\pm 210 mA pada 4,8 V; \pm 260 mA pada 8,4 V
Arus stall	\pm 2100 mA pada 4,8 V; \pm 2700 mA pada 8,4 V
Torsi maksimum	20,5 kg·cm pada 4,8 V; 22,8 kg·cm pada 8,4 V
Sinyal kendali	PWM
Sudut kerja	180° \pm 3° berdasarkan datasheet TinyTronics

Dalam sistem tugas akhir ini, motor servo TD8120MG digunakan sebagai aktuator utama untuk mengatur sudut elevasi dan arah horizontal dari kedudukan modul laser agar dapat diarahkan ke objek berdasarkan koordinat hasil deteksi kamera. Setelah sistem pengolahan citra menentukan posisi target, mikrokontroler

mengirimkan sinyal PWM ke motor servo TD8120MG untuk menggerakkan mekanisme *pan-tilt* menuju sudut yang sesuai. Kemampuan servo dalam mengatur posisi dan mempertahankan sudut secara stabil berperan penting dalam menjaga arah pancaran laser tetap berada pada titik target. Dengan demikian, penggunaan TD8120MG dapat meningkatkan akurasi sistem penargetan otomatis berbasis kamera.

2.9 Push Button

Push button merupakan salah satu jenis saklar mekanis yang berfungsi sebagai penghubung atau pemutus arus listrik dalam sebuah rangkaian secara sementara. Komponen ini termasuk dalam kategori input digital karena hanya memiliki dua kondisi logika, yaitu logika tinggi (HIGH) saat tombol tidak ditekan, dan logika rendah (LOW) saat tombol ditekan [29]. Push button bekerja dengan cara menghubungkan dua terminal konduktif ketika tombol ditekan, memungkinkan aliran listrik mengalir, dan akan memutuskan kembali aliran saat dilepas. Karakteristik ini menjadikannya sebagai tombol *momentary normally open* (NO) yang banyak digunakan dalam sistem kontrol berbasis mikrokontroler seperti Arduino maupun STM32 [30].



Gambar 2.5 *Push Button* [31]

Dalam implementasi perangkat kendali atau sistem keamanan berbasis mikrokontroler, push button digunakan sebagai pemicu logika manual untuk mengaktifkan atau menghentikan proses. Salah satu jenis push button yang sesuai adalah tipe R13-507, berdiameter 16 mm seperti pada gambar 2.5, yang dirancang untuk pemasangan panel dengan dua pin terminal. Spesifikasi teknis dari push

button ini mencakup tegangan kerja maksimum 250 V AC atau 30 V DC, arus maksimum 3 A (DC) atau 5 A (AC), resistansi kontak sebesar 50 m Ω , dan resistansi isolasi hingga 100 M Ω [32]. Tombol ini juga memiliki ketahanan operasional hingga 10.000 siklus penekanan, menjadikannya cukup andal untuk penggunaan jangka menengah dalam proyek tugas akhir. Dalam kondisi sistem berbasis mikrokontroler, tombol ini tetap dapat digunakan meskipun hanya bekerja pada tegangan rendah (3.3–5 V) dan arus logika yang kecil, karena spesifikasinya mencakup rentang yang lebih tinggi dari kebutuhan dasar [29]. Untuk menghindari pembacaan input yang tidak stabil akibat efek getaran mekanis, sistem harus dilengkapi dengan teknik *debouncing*, baik secara perangkat lunak (*software delay* atau logika waktu) maupun secara perangkat keras dengan kapasitor paralel kecil. Spesifikasi pada *push button* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4 dibawah ini.

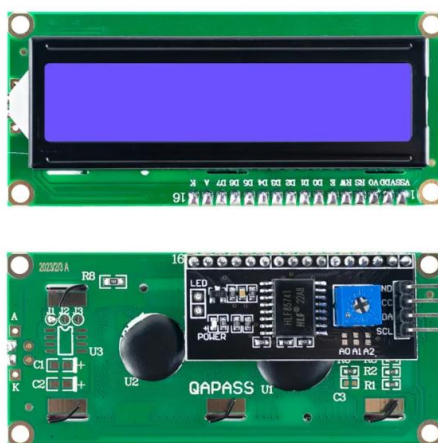
Tabel 2.4 Spesifikasi *Push Button* [33]

Parameter	Spesifikasi
Jenis	<i>Push button momentary</i> (NO – <i>normally open</i>)
Jumlah Pin	2 Pin
Fungsi	Saklar digital untuk memberi sinyal input ke mikrokontroler
Tegangan kerja	3.3V – 5V
Debouncing	Diperlukan
Waktu respon	\pm 0.3 detik
Pengkabelan	Salah satu pin dihubungkan ke GND, satu lagi ke pin digital input MCU
Platform uji coba	Arduino Nano dan STM32 (STM32F103/ <i>Blue Pill</i>)

2.10 LCD I2C

Liquid Crystal Display (LCD), seperti pada Gambar 2.6, merupakan jenis tampilan yang bekerja dengan memanfaatkan sifat kristal cair sebagai komponen utamanya. Teknologi ini telah banyak diterapkan pada berbagai perangkat elektronik seperti kalkulator, televisi, dan monitor computer [34]. Dalam proyek tugas akhir, LCD 16x2 dengan antarmuka I2C atau TWI menjadi pilihan yang tepat.

Modul ini menggunakan IC Hitachi HD44780 dan terintegrasi dengan komunikasi serial I2C berkecepatan tinggi, sehingga hanya memerlukan dua jalur koneksi ke papan Arduino, yaitu SDA dan SCL, serta catu daya 5 Volt DC dan ground. Untuk dapat berfungsi dengan Arduino, dibutuhkan pustaka tambahan yaitu LiquidCrystal_I2C [35], [36].



Gambar 2.6 LCD I2C [37]

LCD ini memiliki spesifikasi yang sesuai untuk aplikasi mikrokontroler, di antaranya kemampuan menampilkan 16 karakter dalam dua baris, menyimpan hingga 192 karakter, mendukung karakter generator, serta dapat dioperasikan dalam mode 4-bit maupun 8-bit [38], [39]. Modul ini juga dilengkapi dengan lampu latar (*backlight*) dan *variabel resistor* (VR) untuk pengaturan kontras. Kompatibilitas dengan mikrokontroler menjadikannya efektif sebagai penampil informasi, seperti menampilkan data jarak dari sensor ultrasonik atau tingkat polusi udara dari sensor kualitas udara [40]. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 mengenai spesifikasi dibawah ini.

Tabel 2.5 Spesifikasi LCD I2C [41]

Parameter	Spesifikasi
Dimensi Tampilan	16 kolom × 2 baris
Driver Kontrol	HD44780 atau kompatibel
Protokol Komunikasi	I2C (melalui modul PCF8574T / PCF8574A)
Alamat I2C Default	0x27 atau 0x3F

Tegangan Operasi	5V DC
Arus Konsumsi	± 20 mA
Pin yang Digunakan	2 pin: SDA dan SCL
Dukungan Karakter	Karakter ASCII standar + 8 karakter kustom (CGRAM)
Warna Tampilan	Teks hitam/putih, latar belakang biru/hijau
Penyesuaian Kontras	Melalui potensiometer yang terdapat pada modul I2C
Kompatibilitas	Arduino, STM32, ESP32, Raspberry Pi, dll.

2.11 Saklar

Saklar atau *switch* merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik dalam suatu rangkaian secara manual maupun otomatis. Dalam sistem keamanan otomatis seperti yang dirancang dalam tugas akhir ini, saklar berfungsi sebagai pengendali logika input yang menentukan kapan suatu perintah harus dieksekusi, seperti mengaktifkan *laser module* atau mengatur ulang posisi servo [42]. Saklar dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu saklar mekanis dan saklar elektronik. Saklar mekanis seperti *push button* biasanya digunakan untuk aktivasi manual sistem, sedangkan saklar elektronik seperti *relay* atau *solid-state switch* dioperasikan secara otomatis berdasarkan sinyal logika dari mikrokontroler seperti Arduino. Peran saklar dalam sistem ini tidak hanya terbatas sebagai pemutus atau penghubung arus, tetapi juga sebagai bagian integral dalam pengambilan keputusan sistem yang berbasis pada hasil deteksi visual, menjadikannya krusial dalam menjaga integritas, keamanan, dan keandalan proses pelumpuhan objek [43]. Untuk gambar saklar dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 *Switch On Off* [44]

Tabel 2.6 Spesifikasi *Switch ON OFF* [44]

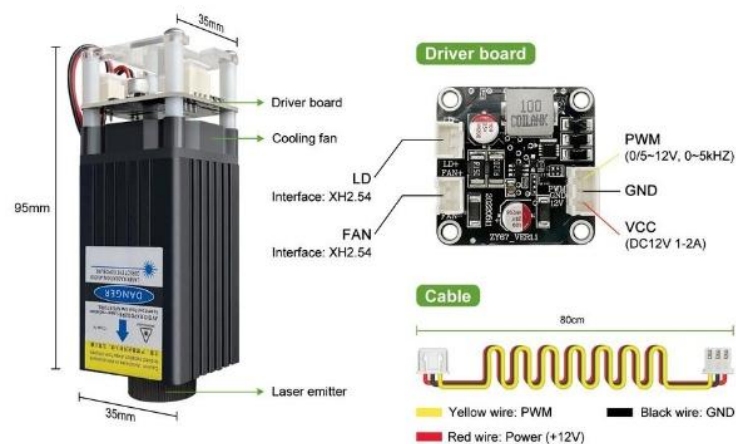
Parameter	Spesifikasi
Tipe	<i>Switches</i>
Nomer Model	KCD1-101N
Tipe Saklar	<i>Rocker Switch</i>
Fungsi	ON / OFF
<i>Current Rating</i>	5A
<i>Voltage Rating</i>	220V AC
Fitur	Dilengkapi LED
LED Color	Merah
Material	Plastik
Pin Material	Tembaga

Dalam perancangan ini, saklar berfungsi sebagai pengendali aktif atau tidak aktif untuk modul alat tugas akhir. Sesuai dengan Tabel 2.6, saklar yang digunakan merupakan rocker switch tipe KCD1-101N, yang memiliki spesifikasi tegangan maksimum 220V dan arus maksimum 5A. Saklar ini terdiri dari dua pin koneksi dan memiliki dimensi sebesar 10 x 15mm.

2.12 Laser Module

Modul laser diode dengan panjang gelombang 450nm dan daya keluaran sebesar 5W merupakan perangkat optoelektronik yang memancarkan cahaya biru melalui media semikonduktor. Komponen ini sangat efektif dalam aplikasi

pemotongan atau pelumpuhan termal karena kemampuannya menyerap energi secara maksimal pada material non-logam seperti kayu dan plastik. Dalam sistem keamanan berbasis pengolahan citra digital, modul ini difungsikan sebagai alat eksekutor yang merespons deteksi visual dengan mengarahkan pancaran panas ke objek. Salah satu fitur penunjangnya adalah air assist, yaitu aliran udara bertekanan yang diarahkan ke titik tembak laser guna mencegah akumulasi asap dan partikel karbon yang dapat mengaburkan lintasan optik. Dengan integrasi perangkat lunak dan perangkat keras, sistem ini mampu menjalankan proses pelumpuhan secara otomatis berdasarkan deteksi warna dan posisi target yang dianalisis oleh kamera. [45]



Gambar 2.8 Laser Module [46]

Dalam implementasi alat tugas akhir ini, digunakan modul LASER TREE 5W 450nm dengan fokus tetap karena mendukung kebutuhan operasi yang presisi dan responsif. Modul yang dapat dilihat pada Gambar 2.8, dirancang dengan jarak fokus tetap sekitar 50 mm, yang mempermudah penyetelan sistem dan memastikan stabilitas arah tembak. Daya 5 watt pada modul ini mampu menghasilkan panas secara cepat dan konsisten, sedangkan sistem pendingin aktif yang terdiri dari heatsink aluminium dan kipas 12V menjaga suhu operasional tetap aman saat digunakan berulang kali. Kehadiran *air assist* turut meningkatkan efisiensi tembak dengan menghilangkan hambatan asap yang dapat mempengaruhi presisi laser. Seperti pada Tabel 2.7 mengenai spesifikasi laser yang digunakan. Modul laser ini dikendalikan melalui mikrokontroler ESP32 MINI – D1 yang menerima perintah

dari aplikasi Delphi 10.4.2 setelah kamera Logitech C270 mendeteksi dan menghitung posisi objek berdasarkan warna RGB. Posisi tembak kemudian diatur melalui pergerakan motor servo TD8120MG. Kombinasi spesifikasi tersebut menjadikan modul ini sebagai komponen utama yang mendukung kinerja sistem pelumpuhan otomatis yang akurat dan adaptif.

Tabel 2.7 Spesifikasi *Laser Module* [46]

Parameter	Spesifikasi
Tipe Laser	Diode Laser (Semikonduktor)
Panjang Gelombang	450 nm (Cahaya Biru)
Daya Optik Maksimal	± 5 W (watt)
Jenis Fokus	<i>Fixed Focus</i>
Tegangan Operasi	DC 12V
Arus Operasi	± 1.6 A
Diameter Titik Fokus	± 0.1 mm (pada jarak fokus optimal)
Sistem Pendingin	<i>Heatsink aluminium</i> dan kipas DC 12V (<i>active cooling</i>)
Fitur Air Assist	Ya (dengan nozzle khusus dan selang udara)
Material Casing	Aluminium Alloy
Ukuran Modul	Sekitar 35 mm \times 35 mm \times 95 mm
Berat Modul	± 146 gram
Antarmuka Kontrol	PWM / TTL

Selain bekerja dalam kondisi aktif dan tidak aktif, modul laser juga dapat dikendalikan menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM merupakan teknik pengaturan keluaran dengan mengubah lama pulsa aktif dalam satu periode sinyal. Lama pulsa aktif tersebut disebut *duty cycle*, yaitu perbandingan antara waktu sinyal HIGH terhadap satu periode penuh dan dinyatakan dalam persentase. Semakin besar nilai *duty cycle*, semakin lama sinyal aktif, sehingga rata-rata daya yang diberikan ke modul laser juga semakin besar. [47]

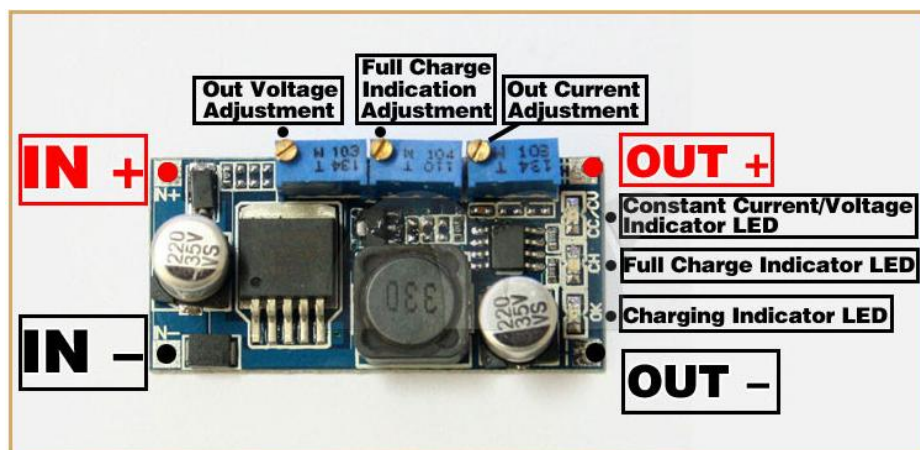
Pada sistem mikrokontroler dengan resolusi PWM 8-bit, nilai PWM berada pada rentang 0 sampai 255. Nilai 0 menunjukkan *duty cycle* 0%, sedangkan nilai 255 menunjukkan *duty cycle* 100%. Persentase *duty cycle* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{Nilai PWM}}{255} \times 100\% \quad (2.14)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, nilai PWM 51, 102, 153, 204, dan 255 masing-masing setara dengan *duty cycle* 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Pada tugas akhir ini, nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan persentase sinyal kendali PWM, bukan hasil pengukuran langsung terhadap daya optik laser. [48]

2.13 Buck Converter LM2596

Buck converter pada Gambar 2.9 adalah jenis konverter tegangan DC ke DC yang berfungsi menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah. Salah satu komponen yang umum digunakan dalam aplikasi ini adalah LM2596, yaitu *regulator switching step-down* yang dirancang untuk menghasilkan tegangan output tetap dan efisien. LM2596 menggunakan metode pengaturan tegangan berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan frekuensi switching tetap sebesar 150 kHz, sehingga mampu mencapai efisiensi konversi daya hingga 90%. Efisiensi tinggi ini memungkinkan penggunaan daya yang lebih hemat serta mengurangi panas yang dihasilkan dibandingkan regulator linier konvensional seperti IC 7805. [49]



Gambar 2.9 *Buck converter* LM2596 [50]

Modul LM2596 tersedia dalam dua varian, yaitu versi tegangan tetap (*fixed*), umumnya 5V, dan versi *adjustable* dengan rentang *output* 1,23V hingga 37V. Modul ini dapat menerima tegangan *input* antara 4V hingga 40V, dan dirancang untuk menyediakan arus *output* hingga 3A secara stabil. Selain itu, LM2596 dilengkapi dengan fitur proteksi terhadap arus berlebih (*overcurrent*), suhu berlebih (*thermal shutdown*), dan korsleting (*short circuit protection*), yang menjadikannya aman untuk digunakan dalam berbagai sistem elektronika *modern*.

Komponen eksternal yang biasanya diperlukan dalam rangkaian LM2596 meliputi dioda Schottky, induktor dengan nilai antara 33 μH hingga 100 μH , serta kapasitor elektrolit dengan nilai minimal 330 μF . Modul ini umumnya dikemas dalam bentuk fisik TO-220 atau TO-263, dan tersedia dalam bentuk modul siap pakai yang dapat langsung digunakan dalam prototipe sistem tenaga DC. Dengan karakteristik ini, LM2596 menjadi pilihan utama untuk sistem yang memerlukan suplai daya 5V yang stabil dan efisien, seperti perangkat mikrokontroler, sensor digital, dan aplikasi berbasis IoT. Spesifikasi *buck converter* lm2596 dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Spesifikasi *Buck Converter* LM2596 [51]

Parameter	Spesifikasi
Jenis Konverter	<i>Step-Down (Buck)</i>
Tegangan <i>Input</i>	Max. 40 V (Mutlak: 45 V)
Tegangan <i>Output</i>	3.3 V, 5 V, 12 V, atau <i>Adjustable</i> (1.2–37 V)
Arus Output Maks.	3 A
Efisiensi	Hingga 90%
Frekuensi <i>Switching</i>	150 kHz (tetap)
Konsumsi <i>Standby</i>	Typ. 80 μA
Proteksi	<i>Overcurrent & Thermal Shutdown</i>
Kemasan	TO-220 & TO-263 (5 pin)
Suhu Operasi	–40°C hingga 125°C

2.14 Kamera Logitech C270

Webcam atau *web camera* adalah kamera video digital berukuran kecil yang umumnya terhubung ke komputer melalui port USB. Fungsinya adalah menangkap gambar atau video secara *real-time* dan langsung mentransfer data ke komputer untuk selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak berbasis visi komputer seperti OpenCV. Kamera seperti Logitech C270 HD memiliki kemampuan merekam video hingga resolusi 720p pada 30 *frame* per detik, dengan fitur tambahan seperti *noise reduction*, *autofocus*, dan teknologi *Fluid Crystal* yang meningkatkan kejernihan gambar. Teknologi ini menjadikan webcam sangat cocok digunakan dalam aplikasi pengenalan wajah, pemantauan objek, dan penghitungan orang secara otomatis [52].

Dalam implementasi sistem berbasis *computer vision*, *webcam* Logitech C270 digunakan sebagai perangkat input untuk mendeteksi dan menghitung objek yang masuk dan keluar. Kamera ini dipasangkan pada posisi strategis untuk menangkap pergerakan objek, yang kemudian dianalisis menggunakan algoritma seperti *Single Shot Detector* (SSD) dan *Centroid Tracking*. Hasil deteksi objek dapat digunakan dalam berbagai sistem pintar [53]. Gambar *web camera* Logitech c270 dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan spesifikasi pada Tabel 2.9.



Gambar 2.10 *Web Camera* Logitech C270 [54]

Tabel 2.9 Spesifikasi *Web Camera Logitech C270* [54]

Parameter	Spesifikasi
Resolusi Video	720p HD (1280 x 720 piksel)
<i>Frame Rate</i>	30 fps
Format Gambar	<i>Widescreen</i>
Koreksi Cahaya Otomatis	Ya (<i>automatic light correction</i>)
Konektivitas	USB 2.0
Bidang Pandang (<i>Field of View</i>)	Sekitar 60°
Klip Penyangga	<i>Universal clip</i> untuk laptop, LCD, atau monitor CRT
Kompatibilitas Sistem	Windows 7, 8, 10 atau versi terbaru, ChromeOS, Android 5.0+

2.15 Power Supply

Power supply merupakan perangkat yang bertugas menyediakan energi listrik kepada berbagai komponen elektronik, dengan menyesuaikan tegangan dan arus sesuai kebutuhan. Secara umum, terdapat dua jenis utama *power supply*, yaitu tipe *linear* dan tipe *switching* (SMPS – *Switched Mode Power Supply*). *Power supply linear* bekerja dengan menggunakan transformator dan regulator linier untuk menghasilkan tegangan yang stabil, meskipun efisiensinya rendah dan ukurannya cenderung besar. Sebaliknya, *power supply switching* lebih efisien karena memanfaatkan proses *switching* dengan frekuensi tinggi untuk mengatur tegangan, sehingga perangkat ini lebih hemat energi dan berukuran lebih ringkas. [55]

Pada proyek tugas akhir ini, digunakan Power Supply Switching 12V/5A sebagai sumber utama untuk menyuplai daya ke motor servo TD8120MG. Tegangan 12V dipilih untuk memberikan daya yang cukup, sedangkan arus maksimal 5A memastikan motor bekerja optimal tanpa penurunan performa.

Sebagai ilustrasi perangkat ini ditampilkan pada Gambar 2.11, dan spesifikasi teknis seperti tegangan masukan, keluaran, serta arus dapat dilihat pada Tabel 2.10.



Gambar 2.11 *Power Supply* [56]

Tabel 2.10 Spesifikasi *Power Supply* [56]

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Masukan	AC 220V 50-60Hz
Tegangan Keluaran	12 VDC
Arus Keluaran	5 A