

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah meninjau dari jurnal maupun penelitian, didapatkan beberapa penelitian yang berhubungan dan sudah dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini disajikan dalam **tabel 2.1** sebagai perbandingan terhadap metode yang digunakan.

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka

No	Judul Penelitian	Keterangan	Perbaikan
1	Deteksi Cacat Kemasan Produk Menggunakan Metode Machine Learning (Richo, 2023)	Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi cacat kemasan menggunakan pendekatan <i>machine learning</i> dan <i>computer vision</i> . Proses meliputi pengambilan citra, <i>pre-processing</i> , serta pelatihan model untuk membedakan kondisi kemasan normal dan cacat. Sistem mampu meningkatkan akurasi inspeksi dibanding metode manual [12].	Pendekatan <i>machine learning</i> membutuhkan dataset besar dan proses pelatihan yang kompleks. Pada penelitian ini digunakan metode <i>thresholding</i> Otsu dan deteksi kontur untuk analisis objek geometris lingkaran sehingga sistem lebih sederhana dan tidak bergantung pada proses <i>training</i> .

No	Judul Penelitian	Keterangan	Perbaikan
2	Deteksi Cacat Kemasan Karton Berbasis Pengolahan Citra Digital (A. D. Firmanto, A. Aprilia, 2024)	Penelitian ini menggunakan sistem inspeksi visual berbasis kamera untuk mendeteksi kerusakan pada kemasan karton. Proses dilakukan menggunakan algoritma pengolahan citra untuk mengidentifikasi cacat sebelum produk didistribusikan [13].	Penelitian ini belum mempertimbangkan variasi posisi kamera. Pada penelitian ini ditambahkan sistem penggerak kamera menggunakan motor <i>stepper</i> untuk memperoleh variasi sudut pengambilan citra.
3	Segmentasi Citra Menggunakan Metode Otsu <i>Thresholding</i> (Linda Susanti, 2024)	Penelitian ini membahas metode Otsu sebagai teknik segmentasi citra untuk memisahkan objek dari latar belakang berdasarkan nilai intensitas piksel secara otomatis [11].	Penelitian ini hanya fokus pada segmentasi citra. Pada penelitian ini metode Otsu dikombinasikan dengan deteksi kontur untuk klasifikasi objek geometris lingkaran.

No	Judul Penelitian	Keterangan	Perbaikan
4	Deteksi Objek Menggunakan Metode Contour Detection pada Citra Digital (A Anandh, Mala, Suresh Babu, 2022)	Penelitian ini memanfaatkan deteksi kontur untuk mengidentifikasi bentuk objek dalam citra digital serta mengekstraksi fitur geometris seperti area dan batas objek [14].	Penelitian ini belum terintegrasi dengan sistem mekanik. Pada penelitian ini deteksi kontur dikombinasikan dengan sistem pengaturan posisi kamera menggunakan motor <i>stepper</i> .
5	Implementasi <i>OpenCV</i> untuk Sistem Deteksi Objek Berbasis Citra (W. Gendy and D. Patel, 2024)	Penelitian ini menggunakan library <i>OpenCV</i> untuk membangun sistem deteksi objek berbasis citra digital yang mampu melakukan pengolahan citra secara <i>real-time</i> [6].	Penelitian ini hanya berfokus pada deteksi objek tanpa klasifikasi kondisi. Pada penelitian ini <i>OpenCV</i> digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan objek geometris lingkaran ke dalam kategori OK dan NG.

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengolah serta menganalisis citra dalam bentuk digital dengan bantuan komputer

untuk memperoleh informasi tertentu dari suatu objek. Teknologi ini telah berkembang pesat dan banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti sistem inspeksi industri, pengenalan pola, serta sistem deteksi objek otomatis. Pemanfaatan teknik ini memungkinkan proses analisis yang sebelumnya dilakukan secara manual menjadi lebih cepat, konsisten, dan minim kesalahan.

Citra digital sendiri merupakan representasi visual dua dimensi dari suatu objek yang tersusun atas elemen-elemen kecil yang disebut piksel. Setiap piksel memiliki nilai intensitas tertentu yang menggambarkan tingkat kecerahan pada titik tersebut. Nilai intensitas ini menjadi dasar dalam proses pengolahan citra untuk mengenali pola, bentuk, serta karakteristik objek dalam suatu gambar[6].

Dalam implementasinya, pengolahan citra digital terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu akuisisi citra, pra-pemrosesan, segmentasi, ekstraksi fitur, serta klasifikasi objek. Setiap tahapan memiliki peran penting dalam mengubah citra mentah menjadi informasi yang dapat digunakan oleh sistem untuk proses analisis dan pengambilan keputusan[15].

Tahap pertama adalah akuisisi citra (*image acquisition*), yaitu proses pengambilan citra menggunakan perangkat seperti kamera digital. Kualitas citra yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh faktor seperti resolusi kamera, kondisi pencahayaan, serta posisi pengambilan gambar terhadap objek[16].

Selanjutnya adalah tahap pra-pemrosesan (*image preprocessing*), yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra agar lebih mudah dianalisis. Proses ini dapat meliputi pengurangan noise, peningkatan kontras, serta konversi citra ke grayscale. Tahap ini sangat penting karena akan mempengaruhi hasil dari proses segmentasi dan analisis objek[17].

Tahap berikutnya adalah segmentasi citra (*image segmentation*), yaitu proses pemisahan objek dari latar belakang. Proses ini memungkinkan sistem untuk fokus hanya pada objek yang ingin dianalisis. Salah satu metode yang sering digunakan dalam segmentasi adalah teknik berbasis perbedaan intensitas piksel[18].

Setelah objek berhasil dipisahkan, dilakukan proses ekstraksi fitur untuk mengambil informasi penting seperti ukuran, bentuk, serta karakteristik geometris objek. Informasi ini kemudian digunakan dalam proses klasifikasi untuk menentukan kondisi objek yang diamati[6].

Tahap terakhir adalah klasifikasi objek, yaitu proses penentuan kategori objek berdasarkan fitur yang telah diperoleh. Dalam sistem inspeksi visual, klasifikasi biasanya digunakan untuk menentukan apakah objek termasuk dalam kategori baik (*OK*) atau cacat (*NG*)[15].

Dalam penelitian ini, teknik pengolahan citra digital digunakan untuk menganalisis objek yang ditangkap oleh kamera menggunakan metode segmentasi citra dan ekstraksi fitur bentuk objek. Parameter yang digunakan dalam analisis objek antara lain luas area objek, lebar objek, tinggi objek, serta rasio bentuk objek. Berdasarkan parameter tersebut, sistem dapat menentukan kondisi objek apakah termasuk kategori OK atau NG.

2.3 Sistem Inspeksi Visual

Sistem inspeksi visual merupakan suatu teknologi yang digunakan untuk melakukan proses pemeriksaan atau evaluasi objek secara otomatis dengan memanfaatkan kamera dan algoritma pengolahan citra. Teknologi ini banyak diterapkan dalam industri manufaktur untuk mendeteksi cacat produk, melakukan pengukuran dimensi, serta mengklasifikasikan kualitas produk secara otomatis. Dengan adanya sistem inspeksi visual, proses inspeksi yang sebelumnya dilakukan secara manual dapat digantikan oleh sistem otomatis yang bekerja lebih cepat, konsisten, serta memiliki tingkat akurasi yang lebih baik[18].

Sistem inspeksi visual merupakan bagian dari teknologi *machine vision*, yaitu suatu sistem yang memungkinkan komputer untuk memperoleh dan memahami informasi dari citra atau video yang ditangkap oleh kamera. Dalam sistem ini, kamera berfungsi sebagai sensor utama yang menangkap citra objek, kemudian citra tersebut diproses menggunakan algoritma tertentu untuk mengekstraksi informasi yang dibutuhkan dari objek yang diamati[19].

Secara umum, sistem inspeksi visual terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kamera, sistem pencahayaan, perangkat pemrosesan citra, serta algoritma analisis citra. Kamera digunakan untuk menangkap citra objek, sedangkan sistem pencahayaan berperan penting dalam memastikan objek terlihat dengan jelas sehingga mempermudah proses analisis. Kondisi pencahayaan yang tidak tepat dapat menyebabkan hasil deteksi menjadi kurang akurat[20].

Perangkat pemrosesan citra biasanya berupa komputer atau sistem embedded yang digunakan untuk menjalankan algoritma pengolahan citra. Algoritma ini berfungsi untuk melakukan berbagai proses analisis seperti segmentasi objek, deteksi bentuk, serta ekstraksi fitur objek. Hasil dari proses tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan kondisi objek yang diamati.

Dalam sistem inspeksi visual modern, berbagai metode pengolahan citra digunakan untuk meningkatkan akurasi deteksi, seperti *thresholding*, deteksi tepi (*edge detection*), serta deteksi kontur (*contour detection*). Metode-metode tersebut memungkinkan sistem untuk memisahkan objek dari latar belakang serta memperoleh informasi bentuk dan ukuran objek secara lebih detail[21].

Pada penelitian ini, sistem inspeksi visual digunakan untuk menganalisis objek yang ditangkap oleh kamera dengan memanfaatkan metode pengolahan citra berbasis *OpenCV*. Sistem melakukan analisis terhadap citra untuk memperoleh parameter seperti luas area, lebar, tinggi, serta rasio bentuk objek. Berdasarkan parameter tersebut, sistem dapat mengklasifikasikan objek ke dalam kategori OK atau NG secara otomatis.

Selain itu, sistem inspeksi visual yang dikembangkan dilengkapi dengan mekanisme pengaturan posisi kamera (*micro-positioning*) berbasis motor *stepper*. Mekanisme ini memungkinkan kamera untuk bergerak ke beberapa posisi tertentu sehingga citra objek dapat diambil dari berbagai sudut pengamatan. Dengan pendekatan ini, kualitas data citra yang diperoleh menjadi lebih optimal sehingga proses analisis dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

2.4 Perangkat Lunak Sistem

Perangkat lunak merupakan komponen penting dalam sistem yang berfungsi untuk mengendalikan proses kerja perangkat keras serta mengolah data yang diperoleh dari sistem. Dalam sistem inspeksi visual ini, perangkat lunak digunakan untuk mengintegrasikan proses pengolahan citra, pengendalian perangkat, serta antarmuka pengguna agar sistem dapat berjalan secara otomatis dan terstruktur. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama yang memiliki peran masing-masing dalam proses akuisisi data, pengolahan citra, pengendalian sistem, serta komunikasi antara perangkat keras dan aplikasi antarmuka.

Secara umum, sistem ini memanfaatkan beberapa perangkat lunak pendukung seperti *OpenCV* untuk pengolahan citra digital, Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, serta Delphi sebagai antarmuka pengguna (GUI). Ketiga komponen ini saling terhubung untuk membentuk sistem yang mampu melakukan proses inspeksi secara *real-time*, mulai dari pengambilan citra, pemrosesan data, hingga pengiriman perintah ke aktuator.

2.4.1 *OpenCV*

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) merupakan pustaka perangkat lunak bersifat *open-source* yang digunakan dalam pengolahan citra digital serta pengembangan aplikasi berbasis *computer vision*. Library ini pertama kali dikembangkan oleh Intel dan saat ini telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti pengenalan wajah, deteksi objek, sistem inspeksi visual, serta pengolahan video secara *real-time*. *OpenCV* menyediakan berbagai fungsi dan algoritma yang dirancang untuk memproses citra secara efisien dan terstruktur.

OpenCV mendukung berbagai bahasa pemrograman seperti C++, Python, dan Java, sehingga dapat digunakan pada berbagai platform pengembangan aplikasi. Dalam implementasinya, *OpenCV* menyediakan berbagai modul yang dapat digunakan untuk melakukan proses pengolahan citra, antara lain akuisisi citra dari kamera, konversi warna, segmentasi citra, deteksi objek, serta ekstraksi fitur

dari objek yang terdapat pada citra. Hal ini menjadikan *OpenCV* sebagai salah satu library yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis citra digital[22].

Salah satu keunggulan utama *OpenCV* adalah kemampuannya dalam melakukan pengolahan citra secara *real-time*. Dengan kemampuan tersebut, sistem *computer vision* dapat langsung memproses citra yang diperoleh dari kamera tanpa jeda waktu yang signifikan. Fitur ini sangat penting dalam aplikasi yang membutuhkan respon cepat, seperti sistem keamanan, robotika, serta sistem inspeksi otomatis pada industri manufaktur.

Dalam sistem inspeksi visual, *OpenCV* digunakan untuk melakukan berbagai tahapan pengolahan citra, seperti konversi citra ke grayscale, segmentasi menggunakan metode *thresholding*, deteksi kontur objek, serta ekstraksi fitur bentuk objek. Tahapan-tahapan ini memungkinkan sistem untuk memperoleh informasi penting dari objek yang diamati sehingga dapat digunakan dalam proses analisis lebih lanjut.

Pada penelitian ini, *OpenCV* digunakan sebagai library utama dalam proses pengolahan citra untuk menganalisis objek yang ditangkap oleh kamera. Proses analisis meliputi konversi citra, segmentasi objek, deteksi kontur, serta ekstraksi fitur seperti luas area, lebar, dan tinggi objek. Informasi tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kondisi objek apakah termasuk kategori OK atau NG secara otomatis.

2.4.2 Delphi (GUI)

Delphi merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi berbasis *Graphical User Interface* (GUI) dengan menggunakan bahasa pemrograman Object Pascal. Delphi dikenal sebagai lingkungan pengembangan yang menyediakan berbagai komponen visual sehingga memudahkan dalam perancangan aplikasi dengan tampilan interaktif. Melalui pendekatan visual tersebut, pengembang dapat merancang antarmuka aplikasi

secara lebih intuitif serta menghubungkannya dengan logika program secara langsung[23].

Dalam pengembangan sistem berbasis komputer, Delphi banyak digunakan karena memiliki performa yang cukup stabil serta mendukung pembuatan aplikasi berbasis desktop dengan tampilan yang terstruktur. Selain itu, Delphi juga mendukung komunikasi dengan perangkat eksternal seperti mikrokontroler melalui komunikasi serial. Hal ini menjadikan Delphi sering dimanfaatkan dalam sistem yang mengintegrasikan perangkat lunak dengan perangkat keras, terutama pada sistem otomasi dan kontrol[24].

Pada sistem inspeksi visual, penggunaan antarmuka berbasis GUI memiliki peran penting sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem. Melalui GUI, pengguna dapat mengontrol jalannya sistem, memantau proses yang sedang berlangsung, serta melihat hasil analisis citra secara langsung. Dengan adanya tampilan yang informatif, pengguna dapat lebih mudah memahami kondisi sistem tanpa harus berinteraksi langsung dengan kode program.

Dalam penelitian ini, Delphi digunakan sebagai antarmuka utama untuk mengendalikan sistem inspeksi visual. Melalui GUI yang dirancang, pengguna dapat menjalankan proses akuisisi citra, mengatur parameter sistem, serta memantau hasil deteksi dan klasifikasi objek. Selain itu, hasil pengolahan citra seperti status objek dalam kategori OK atau NG dapat ditampilkan secara langsung pada layar.

Penggunaan Delphi sebagai antarmuka sistem diharapkan dapat meningkatkan kemudahan penggunaan (*user-friendly*), serta membantu dalam proses monitoring sistem secara *real-time*. Dengan demikian, integrasi antara GUI dan sistem pengolahan citra dapat berjalan dengan lebih efektif dan terstruktur.

2.4.3 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, melakukan kompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. IDE merupakan singkatan dari *Integrated Development*

Environment, yaitu lingkungan pengembangan yang menyediakan berbagai fasilitas pemrograman dalam satu aplikasi. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat membuat program atau *sketch* untuk mengatur kerja mikrokontroler sesuai dengan kebutuhan sistem yang dirancang.

Pada penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk membuat dan mengunggah program ke Arduino Mega 2560. Program yang dibuat berfungsi untuk mengendalikan perangkat keras pada sistem inspeksi visual, seperti motor *stepper* NEMA 23, driver TB6600, limit switch, sensor jarak VL53L0X, LCD I2C, push button start, push button stop, tombol emergency, serta indikator pilot lamp. Selain itu, arduino juga digunakan untuk menerima dan mengirim data melalui komunikasi serial dengan aplikasi Delphi.

Program pada Arduino IDE ditulis dalam bentuk *sketch* yang berisi instruksi untuk mengendalikan sistem, seperti membaca input tombol, mengatur motor *stepper*, membaca limit switch dan sensor jarak, serta melakukan komunikasi dengan aplikasi Delphi. Arduino IDE juga menyediakan fitur penting seperti *verify* untuk memeriksa kesalahan program, *upload* untuk mengirim program ke Arduino Mega 2560, serta Serial Monitor untuk memantau komunikasi data selama pengujian. Selain itu, tersedia Library Manager untuk menambahkan library pendukung seperti LCD I2C dan sensor VL53L0X, serta Boards Manager untuk memilih jenis board yang digunakan agar proses pemrograman dan upload berjalan dengan benar.

Pada sistem inspeksi visual ini, Arduino IDE memiliki peran penting karena menjadi media pemrograman utama untuk mikrokontroler Arduino Mega 2560. Program yang dibuat pada Arduino IDE memungkinkan Arduino untuk mengendalikan motor *stepper* melalui driver TB6600, membaca input dari tombol kontrol dan limit switch, membaca sensor jarak VL53L0X, menampilkan informasi pada LCD I2C, serta mengirim dan menerima data dari aplikasi Delphi.

Dengan demikian, Arduino IDE dinilai sesuai digunakan sebagai perangkat lunak pemrograman mikrokontroler pada sistem inspeksi visual. Penggunaan

Arduino IDE memudahkan proses pengembangan program kontrol, pengujian perangkat keras, serta komunikasi antara Arduino dan aplikasi Delphi. Oleh karena itu, Arduino IDE menjadi salah satu perangkat lunak utama yang mendukung kerja sistem secara keseluruhan.

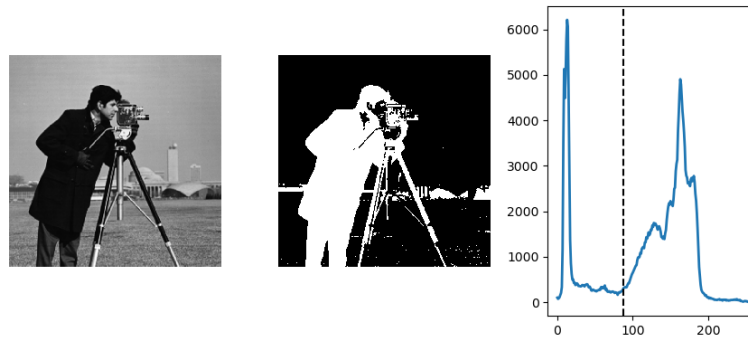
2.5 Metode yang Digunakan

Dalam sistem inspeksi visual ini, metode yang digunakan merupakan tahapan penting dalam proses pengolahan citra digital untuk menghasilkan informasi yang akurat dari objek yang diamati. Metode-metode ini dirancang untuk mendukung proses segmentasi, ekstraksi fitur, dan analisis objek sehingga sistem dapat melakukan klasifikasi secara otomatis berdasarkan citra yang diperoleh dari kamera.

Secara keseluruhan, metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa tahapan utama, mulai dari proses segmentasi citra untuk memisahkan objek dari latar belakang, hingga proses deteksi kontur dan ekstraksi fitur untuk memperoleh karakteristik objek. Setiap metode memiliki peran spesifik yang saling berhubungan dalam membentuk alur pemrosesan citra yang sistematis dan efisien. Dengan demikian, metode yang digunakan dalam sistem ini tidak berdiri sendiri, melainkan saling terintegrasi untuk mendukung proses analisis citra secara menyeluruh.

2.5.1 *thresholding* Otsu

Metode *thresholding* Otsu merupakan salah satu teknik segmentasi citra yang digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang berdasarkan perbedaan nilai intensitas piksel pada citra grayscale. Metode ini bekerja dengan menentukan nilai ambang (*threshold*) secara otomatis, sehingga setiap piksel dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu objek (*foreground*) dan latar belakang (*background*). Penentuan nilai ambang dilakukan dengan memaksimalkan variasi antar kelas (*between-class variance*) sehingga pemisahan objek menjadi lebih optimal[25]. Ilustrasi proses segmentasi citra menggunakan metode *thresholding* Otsu ditunjukkan pada **gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Metode *thresholding* Otsu[21]

Dalam proses *thresholding*, citra grayscale diubah menjadi citra biner yang hanya memiliki dua nilai piksel, yaitu 0 dan 255. Nilai 0 biasanya merepresentasikan latar belakang, sedangkan nilai 255 menunjukkan objek. Proses ini bertujuan untuk menyederhanakan citra sehingga objek dapat dipisahkan dengan lebih jelas dari latar belakangnya. Dengan hasil segmentasi yang baik, proses lanjutan seperti deteksi kontur dan ekstraksi fitur dapat dilakukan dengan lebih mudah dan akurat[26].

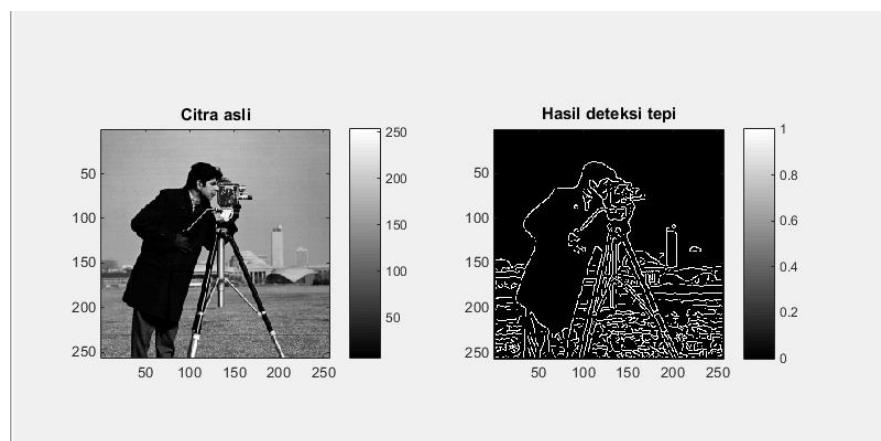
Metode *thresholding* banyak digunakan dalam sistem inspeksi visual karena memiliki proses komputasi yang relatif sederhana namun cukup efektif, terutama pada kondisi pencahayaan yang stabil. Dengan pemisahan objek yang jelas, sistem dapat melakukan analisis bentuk objek dengan lebih baik sehingga meningkatkan akurasi dalam proses deteksi[27].

Dalam penelitian ini, metode *thresholding* Otsu digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang pada citra yang diperoleh dari kamera. Proses ini dilakukan setelah citra dikonversi dari format RGB ke grayscale, sehingga perbedaan intensitas antara objek dan latar belakang menjadi lebih jelas. Hasil dari proses *thresholding* ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk tahap analisis selanjutnya, yaitu deteksi kontur dan ekstraksi fitur objek.

2.5.2 Deteksi Kontur

Deteksi kontur merupakan salah satu teknik dalam pengolahan citra digital yang digunakan untuk mengidentifikasi batas atau tepi suatu objek pada citra.

Kontur dapat dipahami sebagai garis yang menghubungkan titik-titik dengan karakteristik tertentu sehingga membentuk batas dari suatu objek. Dengan memanfaatkan deteksi kontur, sistem dapat mengenali bentuk objek serta memisahkan objek tersebut dari latar belakang sehingga objek dapat dianalisis dengan lebih jelas[28]. Visualisasi hasil deteksi kontur yang digunakan untuk menampilkan batas objek pada citra ditunjukkan pada **gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Metode Deteksi Kontur [28].

Dalam proses pengolahan citra, deteksi kontur umumnya dilakukan setelah tahap segmentasi citra. Segmentasi berfungsi untuk memisahkan objek dari latar belakang, sedangkan deteksi kontur digunakan untuk menentukan batas dan bentuk objek yang telah dipisahkan tersebut. Dengan mengetahui batas objek secara jelas, sistem dapat melakukan analisis lanjutan seperti pengukuran dimensi, analisis bentuk, serta ekstraksi fitur objek[29].

Pada pustaka *OpenCV*, deteksi kontur dapat dilakukan menggunakan fungsi *findContours()* yang berfungsi untuk menemukan kontur pada citra biner hasil proses *thresholding*. Metode ini bekerja dengan menelusuri perubahan nilai piksel pada citra sehingga batas objek dapat dikenali secara otomatis. Hasil dari proses ini berupa kumpulan titik koordinat yang membentuk garis batas objek pada citra[30].

Deteksi kontur memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi *computer vision*, seperti deteksi objek, pengenalan bentuk, serta sistem inspeksi visual pada industri. Dengan menggunakan metode ini, sistem dapat memperoleh informasi

mengenai bentuk dan ukuran objek secara lebih detail. Informasi tersebut kemudian dapat digunakan untuk melakukan analisis lanjutan terhadap objek yang diamati.

Dalam penelitian ini, metode deteksi kontur digunakan untuk mengidentifikasi objek pada citra hasil proses *thresholding* Otsu. Kontur yang terdeteksi kemudian digunakan untuk menentukan bentuk objek serta menghitung beberapa parameter geometris objek seperti luas area (*area*), lebar objek (*width*), tinggi objek (*height*), rasio aspek (*aspect ratio*), dan *circularity*. Parameter-parameter tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan proses analisis guna menentukan kondisi objek apakah termasuk kategori OK atau NG.

2.6 Ekstraksi Fitur Objek (*Feature Extraction*)

Ekstraksi fitur merupakan salah satu tahap penting dalam proses pengolahan citra digital yang bertujuan untuk mengambil informasi utama dari objek yang terdapat pada citra. Informasi yang diperoleh biasanya berupa karakteristik tertentu seperti bentuk, ukuran, luas area, serta perbandingan dimensi objek. Fitur-fitur tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses analisis maupun klasifikasi objek pada sistem *computer vision*[31].

Dalam sistem inspeksi visual, ekstraksi fitur digunakan untuk memperoleh parameter yang dapat merepresentasikan karakteristik objek yang diamati. Beberapa fitur yang umum digunakan antara lain luas area objek, panjang dan lebar objek, serta rasio bentuk objek. Parameter-parameter tersebut memungkinkan sistem untuk membedakan objek normal dengan objek yang mengalami cacat berdasarkan karakteristik geometris yang dimiliki[32].

Pada pustaka *OpenCV*, proses ekstraksi fitur biasanya dilakukan setelah tahap deteksi kontur. Kontur yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung berbagai parameter objek seperti luas area kontur, dimensi objek, serta rasio bentuk. Perhitungan ini dilakukan menggunakan fungsi-fungsi yang telah tersedia sehingga proses analisis dapat dilakukan secara otomatis dan lebih efisien.

Beberapa parameter yang sering digunakan dalam ekstraksi fitur objek antara lain luas area (*area*), lebar objek (*width*), tinggi objek (*height*), rasio aspek (*aspect*

ratio), serta tingkat kebulatan (*circularity*). Luas area digunakan untuk mengetahui ukuran objek, sedangkan lebar dan tinggi digunakan untuk menggambarkan dimensi objek. Rasio aspek merupakan perbandingan antara lebar dan tinggi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi bentuk objek, sedangkan *circularity* digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan objek terhadap bentuk lingkaran.

Dalam penelitian ini, proses ekstraksi fitur objek digunakan untuk memperoleh beberapa parameter penting dari objek yang terdeteksi pada citra hasil proses deteksi kontur. Parameter yang digunakan antara lain luas area objek, lebar objek, tinggi objek, rasio aspek objek, serta *circularity*. Nilai-nilai parameter tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses klasifikasi objek untuk menentukan apakah objek termasuk dalam kategori OK atau NG berdasarkan kondisi bentuk objek yang terdeteksi pada citra.

2.7 Komponen Sistem Perangkat Keras

Komponen perangkat keras merupakan bagian penting dalam sistem inspeksi visual yang berfungsi sebagai elemen fisik untuk menjalankan seluruh proses kerja sistem. Komponen ini bekerja secara terintegrasi dengan perangkat lunak untuk melakukan akuisisi data, pemrosesan gerakan, serta eksekusi perintah sesuai dengan hasil analisis sistem. Setiap komponen memiliki fungsi spesifik yang saling mendukung dalam membentuk satu kesatuan sistem yang dapat beroperasi secara otomatis dan *real-time*.

Dalam penelitian ini, perangkat keras yang digunakan terdiri dari beberapa modul utama seperti mikrokontroler sebagai pusat kendali, motor *stepper* sebagai aktuator gerakan, sensor sebagai pendeteksi jarak, serta berbagai komponen pendukung lainnya seperti sistem pencahayaan, catu daya, dan antarmuka kontrol. Seluruh komponen tersebut dirancang agar dapat bekerja secara sinkron untuk mendukung proses inspeksi objek secara akurat dan stabil.

2.7.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan salah satu papan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Arduino dan berbasis pada mikrokontroler ATmega2560.

Arduino Mega 2560 memiliki keunggulan berupa jumlah pin digital dan analog yang lebih banyak serta kapasitas memori yang lebih besar dibandingkan beberapa jenis board Arduino lainnya seperti Arduino Uno. Arduino Mega 2560 juga memiliki kemampuan komunikasi serial yang dapat digunakan untuk pertukaran data antara mikrokontroler dengan komputer atau perangkat lainnya[33]. Bentuk fisik dan tampilan modul mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali sistem dapat dilihat pada **gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Arduino Mega2560[33]

Board Arduino Mega 2560 juga memiliki spesifikasi yang dapat memudahkan penggunaannya untuk mengetahui bagian dari board. Spesifikasi teknis dari board mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Parameter	Nilai
Microcontroller	Atmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recomended)	7-12V
Input Voltage (Limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16

DC Current per I/O Pin	20mA
DC Current for 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	256 KB (of which 8 KB used by bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Arduino Mega 2560 dapat dihubungkan dengan komputer atau laptop menggunakan kabel USB. Koneksi ini memungkinkan proses pemrograman mikrokontroler dilakukan melalui perangkat lunak Arduino IDE. Setelah program diunggah ke dalam board, mikrokontroler akan menjalankan instruksi yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Board Arduino Mega 2560 dapat diberi catu daya melalui koneksi USB maupun melalui sumber tegangan eksternal seperti adaptor atau baterai. Tegangan yang direkomendasikan untuk mengoperasikan board ini berkisar antara 7–12 V. Arduino Mega 2560 memiliki total 54 pin digital yang dapat digunakan sebagai input maupun output. Setiap pin digital dapat menerima atau memberikan arus maksimum sebesar 40 mA. Selain itu, Arduino Mega 2560 juga dilengkapi dengan 16 pin analog yang memiliki resolusi pembacaan hingga 10-bit.

Selain pin digital dan analog, Arduino Mega 2560 juga memiliki beberapa jenis pin khusus yang memiliki fungsi tertentu dalam pengoperasian sistem. Beberapa pin penting pada Arduino Mega 2560 antara lain sebagai berikut.

1. Pin 5V: Berfungsi sebagai sumber tegangan sebesar 5 volt yang dapat digunakan untuk memberi daya pada beberapa komponen eksternal.

2. Pin 3.3V: Menghasilkan tegangan sebesar 3,3 volt dengan arus maksimum sekitar 50 mA dan biasanya digunakan untuk perangkat yang membutuhkan tegangan lebih rendah.
3. Pin VIN: Digunakan sebagai jalur input tegangan eksternal yang dapat digunakan untuk memberi catu daya pada board Arduino.
4. Pin GND: Merupakan pin ground yang berfungsi sebagai referensi tegangan pada rangkaian elektronik.
5. Pin IOREF: Digunakan sebagai referensi tegangan operasi yang digunakan oleh board Arduino.
6. Pin Serial (RX dan TX): Digunakan untuk komunikasi serial antara Arduino dengan perangkat lain seperti komputer atau modul komunikasi. Pada Arduino Mega 2560 terdapat beberapa port serial, yaitu Serial 0 (RX0, TX0), Serial 1 (RX1, TX1), Serial 2 (RX2, TX2), dan Serial 3 (RX3, TX3).
7. Pin Interrupt: Digunakan untuk menangani sinyal interupsi yang dapat merespons perubahan sinyal secara cepat. Arduino Mega 2560 memiliki beberapa pin interrupt seperti pin 2, 3, 18, 19, 20, dan 21.
8. Pin TWI : Digunakan untuk komunikasi menggunakan protokol I2C, yaitu SDA (pin 20) dan SCL (pin 21).
9. Pin SPI: Digunakan untuk komunikasi Serial Peripheral Interface yang terdiri dari pin MISO (50), MOSI (51), SCK (52), dan SS (53).
10. Pin PWM: Digunakan untuk menghasilkan sinyal Pulse *Width* Modulation yang biasanya digunakan untuk mengatur kecepatan motor atau intensitas cahaya LED.
11. Pin LED: Arduino Mega 2560 memiliki LED internal yang terhubung pada pin digital 13. LED ini dapat digunakan sebagai indikator sederhana untuk menampilkan status output dari program.

Dalam penelitian ini, Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pusat kendali sistem yang mengatur komunikasi antara sensor, aktuator, serta sistem pengolahan citra. Kemampuan jumlah pin yang banyak serta dukungan komunikasi yang lengkap menjadikan Arduino Mega 2560 sesuai untuk digunakan pada sistem inspeksi visual yang terintegrasi.

2.7.2 Motor *Stepper* NEMA 23

Motor *stepper* NEMA 23 merupakan salah satu jenis motor *stepper* yang banyak digunakan pada sistem otomasi, mesin CNC, robotika, serta aplikasi yang membutuhkan pengendalian posisi secara presisi. Motor ini memiliki ukuran rangka yang lebih besar dibandingkan NEMA 17, sehingga mampu menghasilkan torsi yang lebih besar dan sesuai digunakan untuk menggerakkan mekanisme yang membutuhkan daya dorong lebih kuat.[34].

Motor *stepper* NEMA 23 bekerja dengan mengubah sinyal pulsa listrik yang diberikan oleh pengendali menjadi pergerakan sudut yang terkontrol. Setiap pulsa yang diterima motor akan menghasilkan satu langkah pergerakan, sehingga posisi putaran motor dapat diatur secara bertahap dan presisi. Pada umumnya, motor *stepper* NEMA 23 memiliki sudut langkah $1,8^\circ$ per langkah, sehingga dalam satu putaran penuh menghasilkan 200 langkah. Komponen motor *stepper* NEMA 23 yang digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan sistem secara presisi ditunjukkan pada **gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Motor *Stepper* NEMA23[34]

Pada penelitian ini, motor *stepper* NEMA 23 digunakan sebagai aktuator utama untuk menggerakkan mekanisme linear motion yang berfungsi mengatur posisi kamera. Pergerakan motor *stepper* dikendalikan oleh Arduino Mega 2560

melalui driver motor *stepper* TB6600. Motor akan menggerakkan mekanisme linear actuator sehingga kamera dapat berpindah ke posisi kiri, tengah, dan kanan untuk melakukan proses pengambilan citra objek sesuai titik inspeksi yang telah ditentukan. Spesifikasi parameter motor *stepper* NEMA 23 yang digunakan sebagai aktuator utama dalam sistem ditunjukkan pada **tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Spesifikasi Motor *Stepper* NEMA 23

Parameter	Nilai
Tipe Motor	<i>Stepper</i> Motor NEMA 23
Step Angle	1.8 °
Phase	2 Phase
Rated Voltage	12V
Rated Current	2,8 A
Holding Torque	$\pm 1,2 - 1,9 \text{ N}\cdot\text{m}$
Number of Wires	4 Wire
Step per Revolution	200 step/rev

Motor *stepper* NEMA 23 memiliki sudut langkah sebesar 1,8° per langkah, sehingga dalam satu putaran penuh motor menghasilkan 200 langkah. Karakteristik ini memungkinkan motor menghasilkan pergerakan yang lebih terkontrol. Selain itu, torsi yang lebih besar dibandingkan NEMA 17 membuat motor *stepper* NEMA 23 sesuai digunakan pada sistem penggerak kamera berbasis linear actuator. Dengan demikian, motor *stepper* NEMA 23 dinilai sesuai sebagai aktuator utama untuk mengatur posisi kamera pada sistem inspeksi visual.

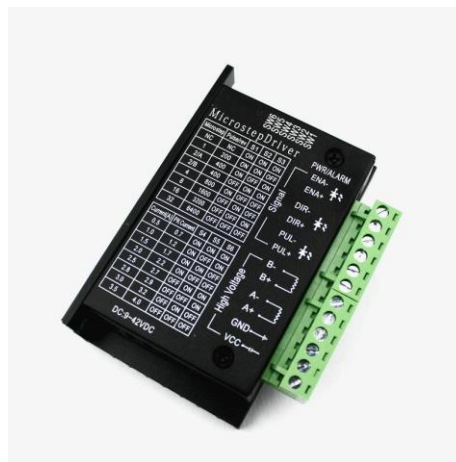
2.7.3 Driver Motor *Stepper* TB6600

Driver motor *stepper* merupakan modul yang digunakan untuk mengendalikan kerja motor *stepper* dengan cara mengatur arus dan sinyal pulsa yang diberikan ke motor. Driver ini berperan sebagai penghubung antara mikrokontroler dan motor *stepper*, karena mikrokontroler tidak mampu secara langsung menyediakan arus yang cukup besar untuk menggerakkan motor. Dengan

adanya driver, sinyal dari mikrokontroler dapat diperkuat sehingga motor dapat beroperasi dengan baik[35].

Pada penelitian ini digunakan driver motor *stepper* TB6600 untuk mengendalikan motor *stepper* NEMA 17. Driver TB6600 dipilih karena mampu menangani arus yang relatif besar serta mendukung pengaturan *microstepping* yang memungkinkan motor bergerak lebih halus dan presisi. Selain itu, driver ini banyak digunakan pada sistem otomasi dan mesin CNC karena memiliki kinerja yang stabil serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler.

Driver TB6600 bekerja dengan menerima sinyal kontrol dari mikrokontroler berupa sinyal STEP (*pulse*) dan DIR (*direction*). Sinyal STEP digunakan untuk menentukan jumlah langkah pergerakan motor, sedangkan sinyal DIR digunakan untuk menentukan arah putaran motor. Dengan mengatur jumlah pulsa yang diberikan, posisi motor *stepper* dapat dikontrol secara presisi sesuai dengan kebutuhan sistem. Modul driver *stepper* TB6600 yang berfungsi untuk mengendalikan pergerakan motor *stepper* berdasarkan sinyal kontrol dari mikrokontroler ditampilkan pada **gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Driver *Stepper* TB6600[35]

Karakteristik teknis driver *stepper* TB6600 sebagai pengendali motor *stepper* dapat dilihat pada **tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Spesifikasi Driver *Stepper* TB6600

Parameter	Nilai
Tipe Driver	TB6600 <i>Stepper</i> Motor Driver
Tegangan Input	9 – 42V DC
Arus Maksimum	4A
Microstepping	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Sinyal Kontrol	STEP dan DIR
Kompatibilitas Motor	2 Phase <i>Stepper</i> Motor
Proteksi	Overcurrent dan Overheat Protection

Driver TB6600 memungkinkan pengaturan arus dan microstepping melalui konfigurasi DIP switch yang tersedia pada modul. Pengaturan microstepping ini membuat motor *stepper* bergerak dengan resolusi langkah yang lebih kecil sehingga pergerakan motor menjadi lebih halus dan presisi. Dalam sistem ini driver TB6600 digunakan untuk mengendalikan pergerakan motor *stepper* NEMA23 yang berfungsi menggerakkan kamera pada sistem micro-positioning.

2.7.4 Kamera USB

Kamera USB merupakan perangkat yang digunakan untuk menangkap citra dari suatu objek dan mengubahnya menjadi data digital yang dapat diproses oleh komputer melalui antarmuka USB. Dalam sistem inspeksi visual, kamera berperan sebagai sensor utama yang bertugas melakukan proses akuisisi citra objek yang selanjutnya dianalisis menggunakan metode pengolahan citra. Data citra yang dihasilkan kemudian menjadi input utama dalam proses *computer vision* untuk memperoleh informasi dari objek yang diamati[6]. Perangkat kamera USB yang digunakan sebagai sensor akuisisi citra dalam sistem inspeksi visual diperlihatkan pada **gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Kamera USB[6]

Secara umum, kamera USB terdiri dari beberapa komponen utama yaitu lensa, sensor gambar, serta sistem pemrosesan citra yang terintegrasi. Lensa berfungsi untuk memfokuskan cahaya dari objek menuju sensor gambar. Sensor tersebut kemudian mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya dikonversi menjadi data digital dalam bentuk citra. Jenis sensor yang umum digunakan pada kamera digital adalah CCD (*Charge Coupled Device*) dan CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), dimana sensor CMOS lebih banyak digunakan karena memiliki konsumsi daya yang lebih rendah serta kecepatan pemrosesan yang lebih tinggi.

Citra digital yang dihasilkan oleh kamera tersusun atas kumpulan piksel yang membentuk matriks dua dimensi. Setiap piksel memiliki nilai intensitas tertentu yang merepresentasikan tingkat kecerahan pada titik tersebut. Informasi ini digunakan dalam proses pengolahan citra untuk menganalisis karakteristik objek seperti bentuk, ukuran, serta tekstur objek yang diamati.

Dalam sistem inspeksi visual, kualitas citra yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti resolusi kamera, kondisi pencahayaan, serta jarak antara kamera dan objek. Resolusi kamera menentukan tingkat detail citra yang diperoleh, sehingga semakin tinggi resolusi maka semakin baik informasi visual yang dihasilkan. Selain itu, pencahayaan yang stabil juga diperlukan agar objek

dapat terlihat dengan jelas, sehingga proses analisis citra dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Kamera USB memiliki keunggulan dalam kemudahan penggunaan karena bersifat *plug and play*, sehingga dapat langsung dihubungkan ke komputer tanpa memerlukan perangkat tambahan. Hal ini membuat kamera USB banyak digunakan dalam sistem inspeksi visual skala laboratorium maupun prototipe.

Pada penelitian ini, kamera USB digunakan sebagai perangkat akuisisi citra untuk menangkap gambar objek yang akan dianalisis menggunakan metode pengolahan citra digital. Citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan algoritma *computer vision* berbasis *OpenCV* untuk mengekstraksi informasi objek dan melakukan proses klasifikasi.

2.7.5 Sistem Pencahayaan

Sistem pencahayaan merupakan salah satu komponen penting dalam sistem inspeksi visual berbasis *computer vision*. Pencahayaan berfungsi untuk memastikan objek yang diamati dapat terlihat dengan jelas oleh kamera, sehingga proses akuisisi citra dapat berlangsung dengan baik. Kualitas pencahayaan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kualitas citra yang dihasilkan, sehingga secara langsung berdampak pada akurasi proses pengolahan citra dan analisis objek dalam sistem inspeksi visual[20].

Dalam sistem *machine vision*, pencahayaan yang baik diperlukan untuk mengurangi bayangan, meningkatkan kontras antara objek dan latar belakang, serta mempermudah proses segmentasi citra. Pencahayaan yang tidak merata dapat menyebabkan objek sulit dibedakan dari latar belakang, sehingga proses analisis citra seperti *thresholding* dan deteksi kontur menjadi kurang optimal.

Pada sistem inspeksi visual sederhana, penggunaan lampu LED *ring light* sering dipilih karena mampu memberikan pencahayaan yang relatif merata pada area objek. Selain itu, posisi pencahayaan yang mengelilingi lensa kamera dapat membantu mengurangi bayangan yang terbentuk pada permukaan objek. Dengan pencahayaan yang lebih stabil dan merata, kualitas citra yang diperoleh menjadi

lebih baik sehingga proses analisis seperti *thresholding*, deteksi kontur, serta ekstraksi fitur dapat dilakukan dengan lebih akurat. Penggunaan lampu LED ring light sebagai sumber pencahayaan untuk menghasilkan distribusi cahaya yang merata pada objek ditunjukkan pada **gambar 2.7**.

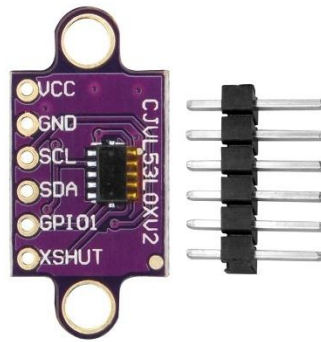


Gambar 2.7 Lampu LED Ring Light[20]

Dalam penelitian ini, sistem pencahayaan menggunakan lampu LED *ring light* yang dipasang di sekitar kamera untuk mendukung proses pengambilan citra objek. Pencahayaan ini digunakan untuk memastikan objek dapat terlihat dengan jelas oleh kamera, sehingga proses pengolahan citra menggunakan *OpenCV* dapat berjalan dengan lebih optimal dan menghasilkan data yang lebih konsisten.

2.7.6 Sensor VL53L0X

Sensor VL53L0X merupakan sensor pengukur jarak yang menggunakan teknologi *Time of Flight* (ToF) untuk menentukan jarak antara sensor dengan objek secara presisi. Sensor ini bekerja dengan memancarkan sinar laser inframerah ke arah objek, kemudian mengukur waktu yang dibutuhkan oleh sinar tersebut untuk dipantulkan kembali ke sensor. Berdasarkan waktu tempuh cahaya tersebut, sensor dapat menghitung jarak objek dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi[36]. Modul sensor jarak VL53L0X yang digunakan untuk mengukur jarak objek berdasarkan waktu pantulan cahaya ditampilkan pada **gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Sensor VL53L0X[36]

Pada penelitian ini sensor VL53L0X digunakan untuk mendeteksi jarak atau posisi objek terhadap sistem kamera. Sensor ini membantu sistem dalam menentukan posisi pengambilan citra sehingga proses inspeksi objek dapat dilakukan dengan lebih konsisten. Selain itu, sensor VL53L0X juga dapat membantu sistem dalam mendeteksi keberadaan objek pada area inspeksi. Parameter spesifikasi sensor VL53L0X yang digunakan untuk pengukuran jarak objek disajikan dalam **tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor VL53L0X

Parameter	Nilai
Tipe Sensor	<i>Time of Flight (ToF) Distance Sensor</i>
Model	VL53L0X
Tegangan Operasi	2.8 – 5 V
Interface	I2C
Jarak Pengukuran	± 2 meter
Panjang Gelombang Laser	940nm
Akurasi Pengukuran	$\pm 3\%$
Dimensi Modul	$\pm 25 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$

Sensor VL53L0X menggunakan komunikasi I2C untuk bertukar data dengan mikrokontroler seperti Arduino. Komunikasi ini menggunakan dua jalur utama

yaitu SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*) yang memungkinkan sensor mengirimkan data hasil pengukuran jarak ke mikrokontroler secara digital.

Dengan karakteristik tersebut, sensor VL53L0X sangat sesuai digunakan dalam sistem inspeksi visual yang membutuhkan pengukuran jarak secara presisi. Pada penelitian ini, sensor dimanfaatkan untuk memastikan posisi objek dan kamera berada pada kondisi yang sesuai sebelum proses pengambilan citra dilakukan.

2.7.7 Endstop Limit Switch Module

Endstop limit switch merupakan salah satu jenis sensor batas yang digunakan untuk mendeteksi posisi ujung atau batas pergerakan pada suatu sistem mekanik. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan saklar mekanis yang akan aktif ketika tuasnya tertekan oleh bagian mekanik yang bergerak. Ketika terjadi kontak, modul akan menghasilkan sinyal digital yang dikirimkan ke mikrokontroler sebagai penanda bahwa sistem telah mencapai posisi batas tertentu[37] Komponen limit switch yang berfungsi sebagai penanda posisi batas gerak pada sistem mekanik diperlihatkan pada **gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Endstop Limit Switch Module[37]

Pada penelitian ini digunakan Mechanical Endstop Limit Switch Module yang umum digunakan pada sistem 3D printer dan mesin CNC sebagai sensor batas gerakan. Modul ini terdiri dari sebuah saklar mekanis yang dipasang pada papan rangkaian kecil serta dilengkapi dengan konektor untuk memudahkan proses pemasangan pada sistem elektronik.

Endstop limit switch module memiliki tiga pin utama yaitu VCC, GND, dan Signal. Pin VCC digunakan sebagai sumber tegangan, pin GND sebagai ground, sedangkan pin Signal digunakan untuk mengirimkan sinyal digital ke mikrokontroler ketika saklar aktif. Modul ini juga dilengkapi dengan LED indikator yang akan menyala ketika limit switch tertekan sehingga memudahkan proses pengecekan kondisi sensor. Spesifikasi modul endstop limit switch yang berfungsi sebagai penanda batas pergerakan sistem ditampilkan pada **tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Spesifikasi Endstop Limit Switch Module

Parameter	Nilai
Tipe Modul	Mechanical Endstop Limit Switch
Operating Voltage	3.3 – 5V
Output Signal	Digital Signal
Interface	3 Pin (VCC, GND, Signal)
Switch Type	Mechanical Lever Switch
Indicator	LED Indicator
Board Type	Endstop Module

Pada penelitian ini endstop limit switch digunakan sebagai sensor batas gerakan pada sistem pergerakan kamera. Ketika mekanisme linear motion bergerak menuju posisi awal, tuas limit switch akan tertekan oleh bagian mekanik sehingga modul akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian menggunakan sinyal tersebut sebagai referensi untuk menghentikan pergerakan motor dan menetapkan posisi awal sistem.

2.7.8 Power Supply

Power supply merupakan perangkat yang berfungsi sebagai sumber energi listrik untuk menyuplai kebutuhan daya pada berbagai komponen elektronik dalam suatu sistem. Perangkat ini bekerja dengan cara mengubah sumber tegangan listrik dari sumber utama, seperti tegangan AC, menjadi tegangan DC yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen. Dalam sistem elektronika, keberadaan

power supply sangat penting karena setiap komponen memiliki spesifikasi tegangan dan arus yang berbeda[38]. Perangkat catu daya yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan tegangan dan arus pada seluruh komponen sistem dapat dilihat pada **gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Power Supply [38]

Pada penelitian ini digunakan power supply DC 12 V 5 A sebagai sumber utama tegangan untuk keseluruhan sistem. Power supply ini digunakan untuk menyuplai daya ke beberapa komponen utama, seperti driver motor *stepper* TB6600, motor *stepper* NEMA23, serta rangkaian pendukung lainnya. Pemilihan tegangan 12 V didasarkan pada kebutuhan kerja driver motor *stepper* yang digunakan, sehingga sistem dapat bekerja secara optimal. Detail spesifikasi catu daya yang digunakan sebagai sumber energi utama sistem dijelaskan pada **tabel 2.7**.

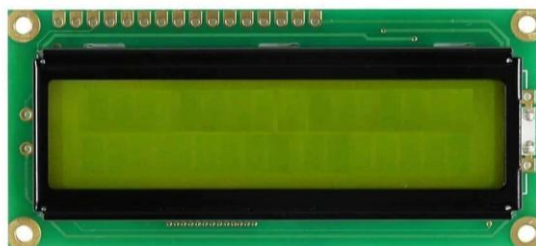
Tabel 2.7 Spesifikasi Power Supply

Parameter	Nilai
Tipe Power Supply	DC Adapter
Tegangan Output	12V
Arus Maksimum	5A
Jenis Tegangan	DC (<i>Dirent Current</i>)
Tegangan Input	220V AC

Dalam implementasinya, power supply berperan sebagai sumber utama energi listrik yang kemudian didistribusikan ke seluruh komponen sistem. Tegangan 12 V digunakan secara langsung untuk mengoperasikan driver motor *stepper* dan motor *stepper*. Sementara itu, komponen lain seperti mikrokontroler dan sensor menggunakan tegangan yang lebih rendah yang diperoleh melalui regulator tegangan yang tersedia pada sistem.

2.7.9 LCD I2C

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan perangkat tampilan yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk teks maupun karakter. LCD banyak digunakan pada sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki konsumsi daya yang relatif rendah serta mampu menampilkan informasi secara sederhana dan jelas. Dalam sistem elektronika, LCD sering dimanfaatkan sebagai media antarmuka untuk memberikan informasi kepada pengguna mengenai kondisi sistem yang sedang berjalan[39] Modul LCD I2C 16x2 yang digunakan sebagai media penampil informasi kondisi sistem ditunjukkan pada **gambar 2.11**.



Gambar 2.11 LCD I2C 16x2[39]

Pada penelitian ini, LCD digunakan sebagai media untuk menampilkan informasi status sistem, seperti kondisi proses, hasil klasifikasi objek, serta indikator operasional lainnya. Dengan adanya LCD, pengguna dapat memantau sistem secara langsung tanpa harus bergantung pada tampilan komputer.

LCD yang digunakan telah dilengkapi dengan modul komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*). I2C merupakan protokol komunikasi serial yang memungkinkan beberapa perangkat terhubung hanya menggunakan dua jalur utama, yaitu SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*). Penggunaan modul I2C bertujuan untuk menyederhanakan koneksi antara LCD dan mikrokontroler, sehingga jumlah pin yang digunakan menjadi lebih efisien dibandingkan metode paralel. Informasi teknis mengenai modul LCD I2C sebagai media tampilan sistem dirangkum pada **tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Spesifikasi LCD I2C

Parameter	Nilai
Tipe LCD	16x2 Character LCD
Interface	I2C
Tegangan Operasi	5 V
Jumlah Karakter	16 kolom x 2 baris
Alamat I2C	0x27 / 0x3F
Jalur Komunikasi	SDA, SCL
Konsumsi Arus	± 20 mA
Backlight	LED

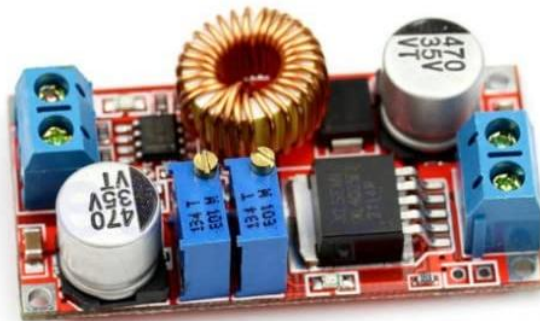
Dalam penelitian ini, LCD berfungsi sebagai media tampilan tambahan yang mendukung sistem inspeksi visual. Informasi yang ditampilkan pada LCD dapat berupa status sistem, indikator proses berjalan, maupun hasil klasifikasi objek dalam kategori OK dan NG. Dengan adanya LCD, sistem menjadi lebih informatif dan mudah dipantau secara langsung.

2.7.10 Buck Converter XL4015

Buck converter XL4015 merupakan modul konverter DC-DC step down yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC dari nilai yang lebih tinggi menjadi tegangan DC yang lebih rendah. Modul ini banyak digunakan pada sistem elektronika karena mampu menghasilkan tegangan keluaran yang dapat disesuaikan

sesuai kebutuhan rangkaian. Pada sistem yang menggunakan sumber tegangan 12V, modul XL4015 dapat digunakan untuk menurunkan tegangan menjadi 5V agar sesuai dengan kebutuhan komponen elektronika pendukung.

Buck converter XL4015 bekerja dengan prinsip switching regulator. Tegangan input yang masuk ke modul akan dikendalikan melalui proses switching sehingga menghasilkan tegangan output yang lebih rendah dan stabil. Dibandingkan regulator linear, buck converter memiliki efisiensi yang lebih baik karena proses penurunan tegangan dilakukan secara switching, sehingga daya yang terbuang dalam bentuk panas dapat lebih kecil[40]. Komponen buck converter XL4015 yang digunakan sebagai penurun tegangan pada sistem inspeksi visual ditunjukkan pada **gambar 2.12**.



Gambar 2. 12 Buck Converter XL4015[40]

Pada penelitian ini, buck converter XL4015 digunakan untuk menurunkan tegangan dari power supply 12VDC menjadi 5VDC. Tegangan 5V tersebut digunakan untuk menyuplai komponen pendukung pada sistem, seperti LCD I2C, sensor VL53L0X, limit switch module, dan rangkaian 5V lainnya. Dengan adanya modul XL4015, kebutuhan tegangan pada komponen pendukung dapat disesuaikan sehingga sistem dapat bekerja lebih stabil. Spesifikasi parameter buck converter XL4015 yang digunakan pada sistem ditunjukkan pada **tabel 2.9**.

Tabel 2.9 Spesifikasi Buck Converter XL4015

Parameter	Nilai
Tipe Modul	Buck Converter XL4015
Input Voltage	8V – 36V DC
Output Voltage	1.25V – 32V DC
Arus Output Maksimum	5A
Frekuensi Switching	180 kHz

Buck converter XL4015 memiliki kemampuan menurunkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah sesuai kebutuhan sistem. Pada penelitian ini, output modul diatur sebesar 5VDC agar dapat digunakan oleh komponen pendukung yang membutuhkan tegangan kerja 5V. Dengan karakteristik tersebut, modul XL4015 dinilai sesuai digunakan sebagai penurun tegangan pada sistem inspeksi visual yang dirancang.

2.7.11 Tombol Kontrol Sistem

Tombol kontrol sistem merupakan komponen input manual yang digunakan untuk memberikan perintah langsung pada sistem inspeksi visual. Tombol ini berfungsi sebagai media pengendali tambahan selain perintah yang diberikan melalui antarmuka aplikasi Delphi. Pada sistem ini, tombol kontrol yang digunakan terdiri dari push button Start, push button Stop, dan tombol Emergency.

Push button Start dan Stop yang digunakan merupakan tombol tekan dua kaki. Push button Start digunakan untuk memulai proses kerja sistem, sedangkan push button Stop digunakan untuk menghentikan proses sistem secara manual. Kedua tombol ini bekerja dengan memberikan sinyal input ke Arduino Mega 2560 ketika tombol ditekan. Arduino kemudian membaca perubahan kondisi input tersebut dan menjalankan perintah sesuai fungsi tombol yang ditekan.

Tombol Emergency yang digunakan merupakan jenis mushroom emergency button. Tombol ini memiliki bentuk kepala tombol yang lebih besar sehingga mudah ditekan dalam kondisi darurat. Emergency button berfungsi sebagai

pengaman sistem apabila terjadi kondisi tidak normal, seperti pergerakan motor yang tidak sesuai atau sistem perlu dihentikan secara cepat. Ketika tombol Emergency ditekan, sistem akan menghentikan proses kerja untuk mencegah kerusakan pada mekanisme maupun komponen sistem[41]. Komponen tombol kontrol sistem yang digunakan pada sistem inspeksi visual ditunjukkan pada **gambar 2.13**.



Gambar 2. 13 Tombol kontrol sistem Start, Stop, dan Emergency[41]

Pada penelitian ini, tombol Start, Stop, dan Emergency dihubungkan ke Arduino Mega 2560 sebagai input digital. Push button Start digunakan untuk menjalankan proses inspeksi otomatis, push button Stop digunakan untuk menghentikan proses sistem, sedangkan tombol Emergency digunakan sebagai pengaman utama apabila terjadi kondisi darurat. Dengan adanya tombol kontrol ini, pengguna dapat mengoperasikan sistem secara manual dan menghentikan sistem dengan cepat apabila diperlukan. Spesifikasi tombol kontrol sistem ditunjukkan pada **tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 Spesifikasi Tombol Kontrol Sistem

Parameter	Keterangan
Jenis Tombol Start	Push button 2 kaki
Jenis Tombol Stop	Push button 2 kaki
Jenis Tombol Emergency	Mushroom emergency button
Fungsi Tombol Start	Memulai proses inspeksi otomatis

Fungsi Tombol Stop	Menghentikan proses sistem secara manual
Fungsi Tombol Emergency	Menghentikan sistem pada kondisi darurat
Mikrokontroler	Arduino Mega 2560
Jenis Sinyal	Input digital
Mode Pembacaan	Aktif saat tombol ditekan
Fungsi pada Sistem	Memberikan perintah manual dan pengaman sistem

Tombol kontrol memiliki peran penting dalam sistem inspeksi visual karena memungkinkan pengguna memberikan perintah secara langsung tanpa hanya bergantung pada aplikasi. Tombol Start digunakan untuk memulai siklus inspeksi, tombol Stop digunakan untuk menghentikan proses, dan tombol Emergency digunakan sebagai pengaman apabila sistem harus dihentikan segera. Dengan demikian, tombol kontrol sistem dinilai penting untuk mendukung pengoperasian dan keamanan sistem inspeksi visual.

2.7.12 Indikator Pilot Lamp

Pilot lamp merupakan komponen indikator visual yang digunakan untuk menampilkan kondisi kerja suatu sistem melalui nyala lampu. Pada sistem kontrol, pilot lamp berfungsi sebagai penanda agar pengguna dapat mengetahui status sistem secara langsung tanpa harus melihat keseluruhan proses pada aplikasi. Indikator ini banyak digunakan pada panel kontrol karena mudah dilihat dan dapat memberikan informasi status sistem secara cepat.

Pada penelitian ini, pilot lamp digunakan sebagai indikator kondisi sistem inspeksi visual. Pilot lamp yang digunakan terdiri dari beberapa warna dengan fungsi yang berbeda. Lampu indikator kuning digunakan sebagai penanda bahwa sistem mendapatkan suplai daya. Lampu indikator hijau digunakan sebagai penanda

bahwa hasil klasifikasi objek adalah OK, sedangkan lampu indikator merah digunakan sebagai penanda bahwa hasil klasifikasi objek adalah NG[42]. Komponen pilot lamp yang digunakan pada sistem inspeksi visual ditunjukkan pada **gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 Indikator pilot lamp pada sistem inspeksi visual[42]

Pada sistem ini, pilot lamp dipasang pada bagian panel kontrol agar pengguna dapat melihat status sistem secara langsung. Pilot lamp kuning menyala ketika sistem dalam kondisi aktif atau mendapatkan sumber daya. Pilot lamp hijau dan merah bekerja berdasarkan hasil klasifikasi objek. Apabila sistem mendeteksi objek sesuai parameter, maka indikator OK akan menyala. Sebaliknya, apabila sistem mendeteksi objek tidak sesuai atau cacat, maka indikator NG akan menyala. Spesifikasi indikator pilot lamp yang digunakan pada sistem ditunjukkan pada **tabel 2.11**.

Tabel 2. 11 Spesifikasi Indikator Pilot Lamp

Parameter	Keterangan
Jenis Komponen	Pilot lamp
Tegangan Kerja	12V DC
Warna Indikator Power	Kuning
Warna Indikator OK	Hijau
Warna Indikator NG	Merah

Fungsi Pilot Lamp Kuning	Menunjukkan sistem mendapatkan suplai daya
Fungsi Pilot Lamp Hijau	Menunjukkan hasil klasifikasi objek OK
Fungsi Pilot Lamp Merah	Menunjukkan hasil klasifikasi objek NG
Posisi Pemasangan	Panel kontrol sistem
Fungsi pada Sistem	Menampilkan status daya dan hasil inspeksi secara visual

Pilot lamp memiliki peran penting sebagai indikator visual pada sistem inspeksi visual. Dengan adanya pilot lamp, pengguna dapat mengetahui kondisi sistem dan hasil klasifikasi objek secara langsung melalui warna lampu indikator. Indikator kuning menunjukkan sistem aktif, indikator hijau menunjukkan objek OK, sedangkan indikator merah menunjukkan objek NG. Dengan demikian, pilot lamp dinilai sesuai digunakan sebagai penanda status sistem pada panel kontrol inspeksi visual.

2.7.13 Pendingin Sistem Fan

Fan atau kipas pendingin merupakan komponen yang digunakan untuk membantu menjaga suhu kerja perangkat elektronik agar tetap stabil. Pada sistem elektronika, fan berfungsi untuk mengalirkan udara di dalam panel atau ruang rangkaian sehingga panas yang dihasilkan oleh komponen dapat berkurang. Komponen seperti power supply, driver motor, dan rangkaian kontrol dapat menghasilkan panas saat sistem bekerja, sehingga diperlukan sirkulasi udara yang baik agar sistem tetap beroperasi secara stabil[43].

Pada penelitian ini, fan digunakan sebagai pendingin pada panel kontrol sistem inspeksi visual. Fan berfungsi untuk membantu membuang udara panas dari dalam panel dan menjaga sirkulasi udara agar komponen elektronik tidak mengalami peningkatan suhu berlebih. Dengan adanya fan, kondisi kerja perangkat

seperti power supply, driver TB6600, buck converter, dan rangkaian kontrol dapat lebih stabil selama proses pengujian berlangsung. Komponen fan yang digunakan sebagai pendingin sistem inspeksi visual ditunjukkan pada **gambar 2.15**.



Gambar 2. 15 Fan[43]

Pada sistem ini, fan dipasang pada bagian panel kontrol untuk membantu proses sirkulasi udara. Fan bekerja saat sistem mendapatkan suplai daya sehingga udara di dalam panel dapat bergerak dan panas dari komponen dapat dikurangi. Penggunaan fan juga bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem, terutama saat sistem dijalankan dalam waktu yang cukup lama. Spesifikasi fan yang digunakan pada sistem ditunjukkan pada **tabel 2.12**.

Tabel 2. 12 Spesifikasi Pendingin Sistem Fan

Parameter	Keterangan
Jenis Komponen	Fan DC
Tegangan Kerja	12V DC
Posisi Pemasangan	Panel kontrol sistem
Cara Kerja	Menyala saat sistem mendapatkan suplai daya

Fungsi pada Sistem	Menjaga suhu komponen agar tetap stabil selama sistem beroperasi
--------------------	--

Fan memiliki peran sebagai komponen pendukung dalam menjaga kestabilan sistem inspeksi visual. Dengan adanya fan, suhu di dalam panel kontrol dapat lebih terjaga sehingga komponen elektronik tidak mudah mengalami panas berlebih. Oleh karena itu, fan dinilai sesuai digunakan sebagai pendingin sistem untuk mendukung kerja perangkat keras selama proses inspeksi visual berlangsung.

2.8 Sistem Gerak Linear (*Linear Rail dan Lead Screw*)

Sistem gerak linear merupakan mekanisme yang digunakan untuk menghasilkan pergerakan lurus pada suatu sistem mekanik. Sistem ini banyak diterapkan pada berbagai peralatan seperti mesin otomatis, mesin CNC, printer 3D, serta sistem mekanik lainnya yang membutuhkan pengaturan posisi dengan tingkat presisi yang tinggi. Umumnya, sistem gerak linear terdiri dari beberapa komponen utama seperti *linear rail*, *lead screw*, *nut*, serta motor penggerak yang bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan pergerakan yang stabil dan terkontrol[44].

Pada penelitian ini, sistem gerak linear digunakan untuk mengatur posisi kamera inspeksi agar dapat berpindah dari satu titik ke titik lainnya secara terukur. Pergerakan kamera ini bertujuan untuk memperoleh sudut pengambilan citra yang lebih optimal sehingga proses inspeksi visual dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Sistem gerak linear yang digunakan terdiri dari *linear rail* tipe MGN12 sebagai rel pemandu, serta *lead screw* tipe T8 sebagai mekanisme utama pengubah gerakan. Motor *stepper* NEMA23 digunakan sebagai aktuator yang memutar *lead screw*, sehingga menghasilkan pergerakan translasi padaudukan kamera.

Mekanisme pergerakan dimulai ketika motor *stepper* memutar *lead screw* melalui *coupler* yang terhubung dengan poros motor. Putaran tersebut akan menggerakkan *nut* pada *lead screw*, sehingga kedudukan kamera yang terpasang pada *nut* akan bergerak sepanjang *linear rail*. *Linear rail* berfungsi sebagai pemandu agar pergerakan tetap lurus, stabil, dan minim getaran. Daftar komponen penyusun

sistem gerak linear beserta fungsinya dalam mekanisme pergerakan ditampilkan pada **tabel 2.13**.

Tabel 2.13 Komponen Sistem Linear Motion

Komponen	Fungsi
Linear Rail MGN12	Rel pemandu pergerakan mekanisme
Lead Screw T8	Mengubah gerakan rotasi motor menjadi gerakan linear
Nut Anti-Backlash T8	Mengurangi celah mekanik agar pergerakan lebih presisi
Coupler	Menghubungkan poros motor dengan lead screw
Bearing Support	Menopang ujung lead screw agar stabil

Dengan menggunakan sistem linear motion ini, posisi kamera dapat diatur secara lebih presisi sehingga proses pengambilan citra objek pada sistem inspeksi visual dapat dilakukan dengan lebih optimal.

2.9 Confusion Matrix

Confusion matrix merupakan salah satu metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur kinerja sistem klasifikasi dengan membandingkan hasil prediksi sistem terhadap kondisi sebenarnya. Metode ini banyak digunakan dalam berbagai sistem klasifikasi karena mampu memberikan informasi yang lebih rinci terkait tingkat keberhasilan maupun kesalahan klasifikasi yang terjadi[45].

Confusion Matrix terdiri dari empat komponen utama, yaitu:

- True Positive (TP): Data yang sebenarnya positif dan diprediksi positif oleh sistem.
- True Negative (TN): Data yang sebenarnya negative dan diprediksi negatif oleh sistem.

- c) False Positive (FP): Data yang sebenarnya negative tetapi diprediksi positif oleh sistem.
- d) False Negative (FN): Data yang sebenarnya positif tetapi diprediksi negative oleh sistem.

Berdasarkan nilai-nilai tersebut, kinerja sistem dapat diukur menggunakan beberapa parameter, salah satunya adalah akurasi. Akurasi menunjukkan tingkat ketepatan sistem dalam melakukan klasifikasi terhadap seluruh data yang diuji.

Rumus akurasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Selain akurasi, parameter lain yang sering digunakan adalah *precision* yang menunjukkan tingkat ketepatan prediksi positif yang dihasilkan oleh sistem, dengan rumus:

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

Selanjutnya ada *Recall* yang menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi seluruh data positif, dengan rumus:

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

Digunakan juga F1-Score untuk menunjukkan keseimbangan antara precision dan recall, dengan rumus:

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

Dengan menggunakan confusion matrix, evaluasi performa sistem tidak hanya terbatas pada tingkat akurasi saja, tetapi juga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek secara tepat.