

BAB II

DASAR TEORI

Pada bab dasar teori ini akan membahas mengenai teori yang terkait dengan topik pembahasan dan komponen-komponen yang digunakan dalam pembuatan.

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada bagian tinjauan pustaka berisi beberapa referensi mengenai perancangan lengan robot pendeteksi kecacatan produk berbahan logam yang terintegrasi dengan Raspberry Pi 5 untuk kebutuhan pembuatan tugas akhir. Berikut adalah hasil tinjauan pustaka yang disajikan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Jurnal Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Penulis / Tahun	Keterangan
<i>Real-Time Detection of Hole-Type Defects on Industrial Components Using Raspberry Pi 5</i>	Mehmet Deniz, et al. (2025)	Penggunaan model MobileNetV3-Large dan EfficientNET-B3 menghasilkan 8 dan 4,7 FPS
Sistem Klasifikasi Sampah Otomatis Berbasis Deteksi Objek Real-Time Pada Single Board Computer Dengan Algoritma YOLO	Ahmad Zaki Firdaus, et al. (2025)	Base model YOLOv11n dengan konversi PyTorch dan NCNN menghasilkan 2,74 dan 8,9 FPS. Dengan waktu inferensi 360ms dan 110ms.
<i>Region-of-Interest Extraction Method to Increase Object-Detection Performance in Remote Monitoring System</i>	Hyeong-GI Jeon, et al. (2025)	Penerapan Filter Region of Interest (ROI) untuk menghapus area background yang tidak relevan sehingga <i>false detection</i> berkurang 4-5%

2.2. YOLO (You Only Look Once)

YOLO (*You Only Look Once*) adalah algoritma *deep learning* yang digunakan untuk mendeteksi objek dalam gambar maupun video dengan tingkat akurasi yang

tinggi. Algoritma ini menggabungkan arsitektur konvolusional yang mendalam (*deep convolutional network*) dengan analisis spasial waktu nyata untuk mendukung deteksi objek secara langsung (real-time). YOLO bekerja dengan menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN), yang membagi gambar menjadi beberapa kotak grid, lalu memprediksi keberadaan objek pada masing-masing kotak. Proses ini dikenal sebagai *klasifikasi sel grid*. Selain itu, YOLO juga menerapkan teknik *bounding box regression* untuk menentukan posisi objek secara presisi di dalam setiap kotak prediksi. Secara matematis, YOLO menghitung probabilitas keberadaan suatu kelas objek beserta posisi objek tersebut pada tiap-tiap grid. Untuk setiap kotak grid, YOLO menghasilkan nilai probabilitas kelas objek $P(\text{kelas})$ dan parameter *bounding box* berupa empat koordinat (x,y,w,h). Selanjutnya, YOLO menggunakan persamaan tertentu untuk menghitung *skor probabilitas* masing-masing grid terhadap semua kelas objek[8].

$$\text{Class Score} = P(\text{class}|\text{object}) \times P(\text{object}) \times \text{IOU} \frac{\text{Luas Overlap}}{\text{Luas Gabungan}} \quad \dots(2.1)$$

Keterangan:

$P(\text{class}|\text{object})$ yaitu probabilitas atau kemungkinan objek dalam *grid box* adalah kelas i

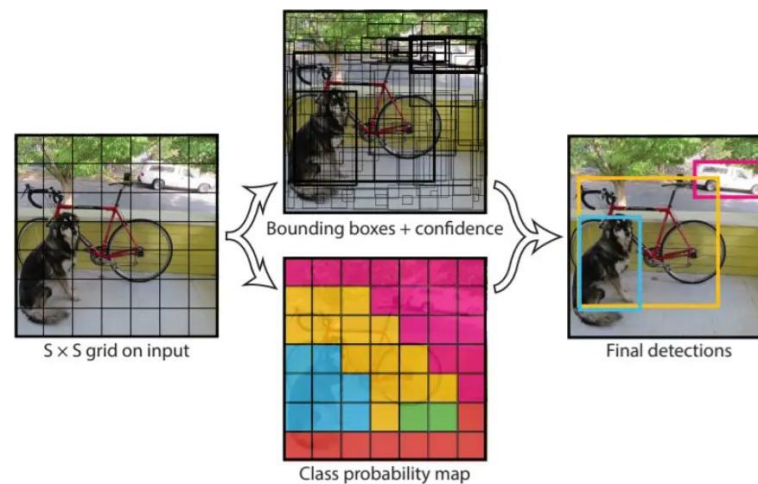
$P(\text{object})$ yaitu probabilitas atau kemungkinan objek berada dalam *grid box*

IOU (*Intersection over Union*) yaitu ukuran berapa banyak *bounding boxes* yang diprediksi akan berdekatan dengan *bounding boxes* asli (*ground truth*).

Skor probabilitas ini digunakan untuk menentukan suatu objek berada di dalam *grid box* atau tidak.

YOLO adalah model deteksi satu tahap (*single-shot*) yang menyederhanakan pendekatan *Region-based Convolutional Neural Network* (R-CNN) dengan kecepatan dan kemampuan generalisasi yang lebih baik. YOLO memformulasikan deteksi objek sebagai masalah regresi, yaitu memprediksi posisi kotak pembatas dan kelas objek langsung dari satu lintasan gambar. Gambar dibagi menjadi beberapa grid dan setiap sel memprediksi kotak pembatas serta skor keyakinan (*confidence score*) adanya objek. Jika probabilitas keberadaan objek di sebuah sel lebih besar dari nol, maka algoritma menghitung skor akhir dengan mengalikan probabilitas

objek dan probabilitas kelasnya[9]. Gambaran cara kerja YOLO seperti **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Cara Kerja Algoritma Yolo

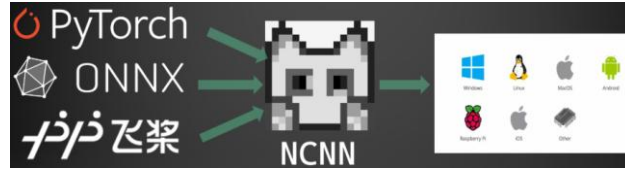
Sumber : [9]

Untuk menentukan *confidence score* dapat ditentukan melalui persamaan (2.2) dibawah ini

$$Confidence\ Score = P(object) \times IOU \frac{Luas\ Overlap}{Luas\ Gabungan} \dots(2.2)$$

2.3. *Normalized Convolutional Neural Network*

NCNN merupakan kerangka kerja *inference* jaringan saraf tiruan yang dikembangkan oleh Tencent dan dioptimalkan untuk dijalankan pada perangkat bergerak serta sistem tertanam seperti smartphone, Raspberry Pi, dan perangkat IoT, dengan dukungan berbagai sistem operasi seperti Linux, Android, iOS, dan macOS. Framework ini dirancang agar efisien dan ringan sehingga dapat menjalankan model pembelajaran mendalam pada perangkat dengan sumber daya terbatas, serta mendukung proses kuantisasi model untuk mengurangi presisi bobot dan aktivasi guna memperkecil ukuran model dan menghemat penggunaan memori[10]. Kuantisasi model adalah proses kompresi ukuran model yang bertujuan untuk mempercepat pemrosesan dan menghemat penggunaan memori tanpa mengorbankan akurasi model secara signifikan. Penggunaan NCNN dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 *Normalized Convolutional Neural Network*

Dalam penelitian ini, NCNN digunakan untuk mengonversi model YOLOv8n agar dapat dijalankan pada Raspberry Pi 5. Hal ini dilakukan dengan tujuan menguji penggunaan NCNN untuk mengetahui seberapa signifikan dalam meningkatkan kecepatan pemrosesan model deteksi secara langsung di perangkat Raspberry Pi 5.

2.4. Filter *Region of Interest* (ROI)

Filter ROI merupakan metode dalam pengolahan citra yang digunakan untuk menandai atau mengekstraksi bagian-bagian penting dari sebuah gambar, yang disebut *region of interest* (ROI). Dengan menyoroti ROI, analisis citra dapat difokuskan pada area yang relevan, sehingga proses deteksi menjadi lebih terarah dan akurat[11]. Pada tugas akhir ini, filter ROI diterapkan untuk membatasi ruang kerja model YOLOv8 agar deteksi cacat hanya dilakukan pada grid tengah frame kamera. Penggunaan ROI di sini bukan bertujuan untuk mengurangi beban komputasi atau meningkatkan akurasi secara keseluruhan, melainkan untuk memastikan YOLO bekerja hanya pada area yang relevan secara fungsional, yaitu kolom tengah tempat barang hollow galvanis steel berada. Dengan demikian, dalam konteks tugas akhir, filter ROI berfungsi sebagai teknik untuk menandai area spesifik pada gambar sebagai fokus utama deteksi.

Region of Interest (ROI) dalam pengolahan citra biasanya dapat direpresentasikan secara matematis dengan koordinat batas area yang ingin difokuskan. Secara sederhana, ROI berbentuk persegi panjang (*rectangular ROI*) sehingga dapat didefinisikan dengan empat parameter (2.3):

$$ROI = (x_1, y_1, x_2, y_2) \quad \dots(2.3)$$

dengan,

x_1, y_1 = koordinat titik kiri atas ROI

x_2, y_2 = koordinat titik kanan bawah ROI

2.5. Confusion Matrix

Confusion matrix adalah alat evaluasi penting dalam machine learning, khususnya untuk tugas klasifikasi seperti deteksi objek menggunakan YOLO. Matrix ini memberikan ringkasan performa model dengan membandingkan prediksi model terhadap label sebenarnya[12]. *Confusion Matrix* terdiri dari empat komponen yakni sebagai berikut.

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

Untuk dapat mengetahui gambaran yang lebih jelas mengenai confusion matrix, berikut ini struktur confusion matrix yang ditampilkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Struktur Confusion Matrix

	Prediksi Positif	Prediksi Negatif
Aktual Positif	TP	TN
Aktual Negatif	FP	FN

Dari *confusion matrix*, dihasilkan persamaan evaluasi untuk menghitung akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-Score*. Berikut penjelasan beserta persamaannya;

- Akurasi adalah proporsi prediksi yang benar terhadap total prediksi.

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} = \frac{\sum \text{Matriks True}}{N} \quad \dots(2.4)$$

- Presisi adalah proporsi prediksi yang benar terhadap total prediksi positif.

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \quad \dots(2.5)$$

- *Recall* (Sensitivitas) adalah proporsi kasus positif yang berhasil dideteksi oleh model.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad \dots(2.6)$$

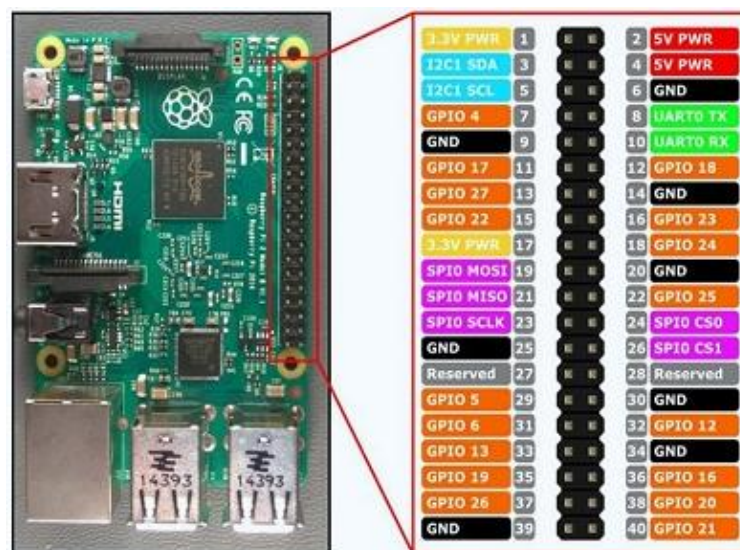
- *F1-Score* adalah rata-rata dari presisi dan *recall*.

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Presisi \times Recall}{Presisi + Recall} \quad \dots(2.7)$$

2.6. Raspberry Pi 5

Raspberry Pi merupakan komputer mini berukuran kecil yang tergolong sebagai single-board computer (SBC), yang mampu menjalankan berbagai fungsi seperti mengetik dokumen, bermain game, memutar video berkualitas tinggi, hingga menjelajahi internet. Nama "Raspberry" berasal dari nama buah, sedangkan "Pi" merujuk pada bahasa pemrograman Python yang banyak digunakan di perangkat ini[13]. Selain fungsinya sebagai komputer biasa, Raspberry Pi juga sering dimanfaatkan untuk pengembangan proyek kreatif, seperti merancang lengan robot yang terintegrasi dengan kamera dan sistem pengendali berbasis Raspberry Pi.

Raspberry Pi 5 adalah komputer mini yang jauh lebih cepat dari versi sebelumnya, Raspberry Pi 4. Dibekali prosesor quad-core 64-bit Arm Cortex-A76 dengan kecepatan 2.4GHz dan GPU VideoCore VII, perangkat ini mampu menjalankan dua layar 4K sekaligus dan memberikan pengalaman desktop yang lancar[14]. Raspberry Pi 5 memiliki konfigurasi pin seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**, dan spesifikasinya dapat dilihat pada **Tabel 2.3** di bawah ini.



Gambar 2.3 Pinout Raspberry Pi 5

Sumber : [15]

Tabel 2.3 Spesifikasi Raspberry Pi 5

Spesifikasi	Keterangan
CPU	64-bit quad-core ARM Cortex-A76
Kecepatan <i>clock</i>	2.0 GHz
Jenis RAM	LPDDR4X
Pilihan kapasitas RAM	4GB, 8GB, dan 16GB
Kecepatan RAM	4266 MHz
GPIO	40 pin
GPU	Broadcom VideoCore VII
Dukungan API	Vulkan dan OpenCL
Jaringan/konektivitas	Wi-Fi 6, Gigabit Ethernet, Bluetooth 5.2
Port USB	2x USB 3.0 dan 2x USB 2.0
Penyimpanan primer	Slot kartu MicroSD UHS-I
Penyimpanan sekunder	SSD NVMe melalui <i>adapter</i>
Penyimpanan external	Kemampuan <i>boot</i> USB
Output	Mikro-HDMI 2.1 ganda, mendukung 4K@60Hz
Kamera	Antarmuka kamera MIPI CSI-2 ganda
Tegangan	5 - 5.25V
Konektor	USB-C
Arus	3A

2.7. Megapixel 720p USB Wide-angle Camera

DFRobot Megapixel 720p USB Wide-angle Camera merupakan modul kamera dengan resolusi 1280 x 720 piksel yang dilengkapi dengan sudut pandang 140°[16]. Kamera ini mendukung protokol komunikasi standar UVC dan dapat digunakan dengan sistem plug-and-play, sehingga tidak memerlukan pengaturan tambahan pada perangkat lunak maupun perangkat keras. Kompatibilitas kamera ini cukup luas, terutama dengan Raspberry Pi dan NVIDIA Jetson Nano, sehingga sesuai untuk berbagai pengembangan berbasis komputer mini. Bentuk fisik dari kamera ini dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Megapixel 720p Wide-angle Camera

Sumber : [16]

Dengan ukuran fisik yang relatif kecil, yaitu 38 mm x 38 mm, modul kamera ini mudah diintegrasikan ke dalam berbagai perangkat maupun sistem tertanam[16]. Meskipun memiliki dimensi yang ringkas, sudut pandang yang lebar memungkinkan kamera ini menghasilkan cakupan visual yang lebih luas, sehingga meningkatkan kualitas dalam proses akuisisi citra. Gambaran visual dari kamera ini dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Perbedaan lensa wide dengan lensa biasa

Sumber : [16]

Kamera ini juga memiliki fleksibilitas dalam penerapannya. Beberapa bidang yang dapat memanfaatkan teknologi ini antara lain pengenalan wajah, pengenalan citra, sistem keamanan, serta pembelajaran jarak jauh. Oleh karena itu, kamera ini tidak hanya berfungsi sebagai perangkat pendukung pengolahan citra, tetapi juga sebagai komponen penting dalam pengembangan sistem cerdas yang membutuhkan akurasi visual serta integrasi dengan perangkat komputasi modern. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kemampuan perangkat ini, berikut ditampilkan spesifikasi kamera pada **Tabel 2.4**.

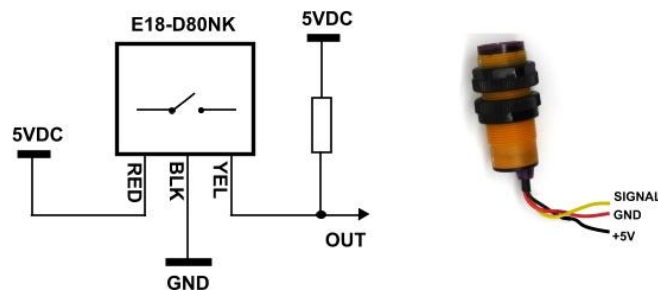
Tabel 2.4 Spesifikasi *Megapixel 720p Wide-angle Camera*

Spesifikasi		Keterangan
Ukuran lensa	1/4 inci	
Ukuran <i>pixel</i>	3 μ m x 3 μ m	
<i>Field of View</i> (FOV)	140°	
Format <i>output image</i>	MJPEG/YUV2 (YUYV)	
Resolusi beserta FPS yang didukung	• 320 x 240 MJPEG @30fps • 352 x 288 YUV2 @30fps • 352 x 288 MJPEG @30fps • 640 x 480 YUV2 @25fps • 800 x 600 MJPEG @30fps • 320 x 240 YUV2 @30fps • 1280 x 720 MJPEG @25fps • 800 x 600 YUV2 @15fps • 640 x 480 MJPEG @25fps • 1280 x 720 YUV2 @10fps	
Fungsi spesial	<i>Lens correction / Defective pixel correction / Black sun cancellation</i>	
Tipe <i>interface</i>	USB2.0 <i>high-speed</i>	
Tegangan kerja	5VDC	
Arus kerja	120mA~220mA	
Ukuran/berat	38mm x 38mm/1.50inch x 1.50inch / about 30g	

2.8. Sensor Inframerah E18-D80NK

Sensor inframerah adalah perangkat elektronik yang menggunakan sinar inframerah untuk mendeteksi keberadaan atau jarak objek tanpa kontak fisik. Sensor ini bekerja dengan memancarkan cahaya inframerah dari pemancar, yang kemudian dipantulkan oleh objek di depannya dan diterima kembali oleh penerima. Ketika objek terdeteksi dalam jangkauan tertentu, sensor memberikan sinyal output, biasanya dalam bentuk digital[17].

Salah satu contoh sensor inframerah yang umum digunakan adalah E18-D80NK. Sensor ini merupakan sensor jarak inframerah tipe difus reflektif dengan jangkauan deteksi yang dapat disesuaikan antara 3 cm hingga 80 cm. Sensor ini terdiri dari pemancar dan penerima inframerah dalam satu modul, yang memungkinkan deteksi objek berdasarkan pantulan cahaya inframerah. Jarak deteksi dapat diatur menggunakan potensiometer yang terletak di bagian belakang sensor. Ketika objek berada dalam jangkauan yang ditentukan, sensor akan mengeluarkan sinyal digital. Sensor ini beroperasi pada tegangan 5V DC dan memiliki konsumsi arus antara 25 mA hingga 100 mA. Output sensor adalah tipe NPN normally open (NO), yang berarti output akan aktif (LOW) saat objek terdeteksi[18]. Sensor E18-D80NK dapat dilihat pada **Gambar 2.6** dan spesifikasi di **Tabel 2.5**.



Gambar 2.6 Pinout Sensor Inframerah E18-D80NK

Sumber : [18]

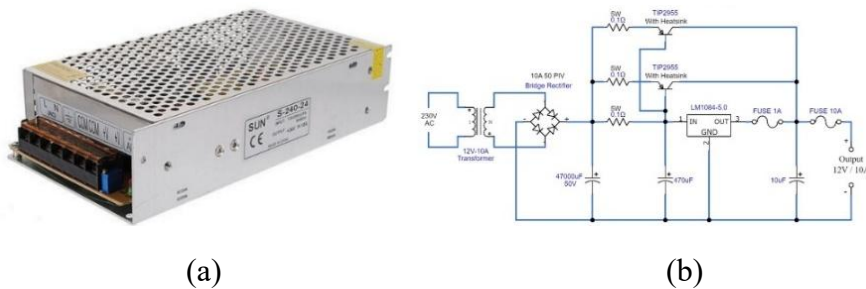
Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor Inframerah E18-D80NK

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>Input</i>	5VDC
Arus beban	100mA
Jangkauan sensor	3cm hingga 80cm dapat disesuaikan
Objek sensor	Translusensi, buram
<i>Output operation</i>	<i>Normally Open (NO)</i>
<i>Output DC</i>	<i>Three-wire system (NPN)</i> Coklat:+5V, Hitam:Output, Biru:GND
Diameter	18mm

Spesifikasi	Keterangan
Panjang	45mm
Panjang Kabel	45cm

2.9. Switching Power Supply 12V 10A

Power supply adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah dan mengatur energi listrik dari sumber utama (seperti listrik PLN) menjadi bentuk tegangan dan arus yang sesuai dengan kebutuhan perangkat elektronik tertentu. Salah satu jenisnya adalah *switching power supply* atau SMPS (*Switched-Mode Power Supply*), yaitu catu daya elektronik yang menggunakan sistem pensaklaran untuk menghasilkan tegangan keluaran yang diatur sesuai kebutuhan[19]. Salah satu contohnya adalah *Switching Power Supply* 12V 10A, yang mengkonversi tegangan AC menjadi tegangan DC 24 volt dengan arus maksimal 10 ampere. SMPS dan skematiknya dapat dilihat pada **Gambar 2.7** dan memiliki spesifikasi seperti di **Tabel 2.6**.



Gambar 2.7 (a) SMPS dan (b) Skematik SMPS

Sumber : [19], [20]

Tabel 2.6 Spesifikasi SMPS 12V 10A

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>Input</i>	85-240VAC $\pm$ 5%
Frekuensi	50/60Hz
Tegangan <i>Output</i>	12VDC
Arus Beban Output	10A
Daya Output	120W

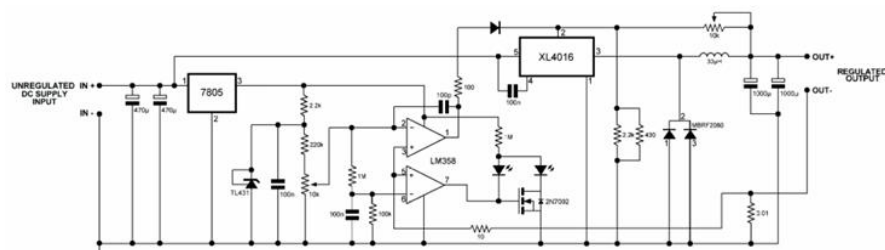
2.10. Stepdown XL4016 5V

Regulator XL4016 dirancang agar dapat bekerja dengan jumlah komponen eksternal seminimal mungkin. Modul ini terdiri dari regulator tegangan XL4016 serta beberapa komponen aktif (semikonduktor) dan pasif pendukung. Modul *stepdown* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**. Di dalamnya terdapat regulator 7805 5V yang berfungsi mengatur tegangan masukan untuk chip LM358, yang bekerja sebagai komparator umpan balik tegangan. Komponen TL431 berperan sebagai shunt regulator yang menyediakan referensi tegangan positif bagi rangkaian komparator. XL4016 sendiri merupakan regulator tegangan jenis switching, sehingga bekerja dengan prinsip saklar frekuensi tinggi. Dioda ganda (Schottky) digunakan sebagai penyearah tegangan dengan karakteristik kecepatan tinggi yang penting untuk menjaga efisiensi konverter. Kumparan induktor berfungsi sebagai elemen konversi energi, sementara kapasitor elektrolit pada sisi input dan output bertindak sebagai filter untuk meredam ripple dari bagian rangkaian yang belum teratur maupun hasil switching, sekaligus menyimpan energi listrik[21]. Skematik *stepdown* XL4016 dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.8 Stepdown XL4016

Sumber : [21]



Gambar 2.9 Skematik Stepdown XL4016

Sumber : [21]

Agar konverter dapat beroperasi secara optimal dan aman, diperlukan proteksi berupa sekering pada bagian input. Hal ini bertujuan untuk mencegah

beban berlebih yang dapat merusak konverter maupun menimbulkan risiko kebakaran. Jika suhu operasi melebihi 65°C , maka penggunaan kipas pendingin menjadi penting, dengan batas suhu maksimum keseluruhan konverter tidak boleh melampaui 80°C . Selain itu, pada kondisi beban kerja, nilai batas maksimum yang ditentukan tidak boleh terlewati karena dapat menyebabkan kerusakan pada modul[21]. Spesifikasi terdapat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Spesifikasi *Stepdown* XL4016

Spesifikasi	Keterangan
<i>Input</i>	5-40VDC
<i>Output</i>	1,25-35VDC (<i>adjustable</i>)
Arus kerja	0,2-8A (<i>adjustable</i>)
Maksimum power output	250W (<i>load</i>)
Dimensi	6.5cm x 4.8cm x 2.4cm (2.5in x 1.9in x 0.9in)

2.11. Motor Servo MG996R

Motor servo merupakan motor DC yang dilengkapi dengan gir, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Gir berfungsi mengurangi kecepatan putar dan meningkatkan torsi, sedangkan potensiometer menentukan posisi poros. Sudut putar motor diatur melalui lebar pulsa pada sinyal masuk[22]. MG996R merupakan salah satu varian dari motor servo yang menghasilkan torsi dan kontrol posisi yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi robotika seperti lengan robot. Berikut ini adalah gambar motor servo pada **Gambar 2.10** serta spesifikasinya yang tercantum pada **Tabel 2.8**.



Gambar 2.10 Motor Servo MG996R

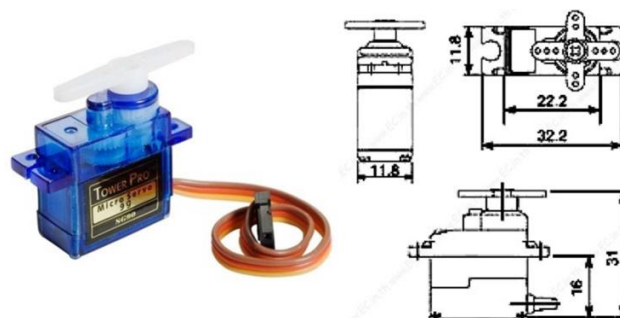
Sumber : [22]

Tabel 2.8 Spesifikasi Motor Servo M996R

Spesifikasi	Keterangan
Torsi Stall	9.4 kg·cm pada 4.8V; 11 kg·cm pada 6.0V
Kecepatan Operasi	0.19 detik/60° pada 4.8V; 0.15 detik/60° pada 6.0V
Tegangan Operasi	4.8V hingga 6.6V
Sudut Rotasi	0° hingga 180°
Tipe Gear	Gear logam
Dimensi	40.7 × 19.7 × 42.9 mm
Berat	55 gram
Jenis Konektor	JR
Panjang Kabel	32 cm
Lebar Dead Band	1 μs
Arus Saat Beban Penuh	hingga 2.5A

2.12. Motor Servo SG90

Servo ini berukuran kecil, ringan, namun mampu menghasilkan daya keluaran yang cukup tinggi. Sudut putarnya mencapai sekitar 180 derajat (masing-masing 90 derajat ke kiri dan ke kanan), dengan cara kerja serupa servo standar namun dalam ukuran yang lebih ringkas. Pengguna dapat mengendalikan servo ini menggunakan berbagai kode, perangkat keras, maupun pustaka servo yang umum tersedia[23]. Motor servo SG90 dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.

**Gambar 2.11** Motor Servo SG90

Sumber : [23]

Untuk memberikan gambaran lebih jelas mengenai karakteristiknya, berikut ditampilkan tabel spesifikasi servo pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9 Spesifikasi Motor Servo SG90

Spesifikasi	Keterangan
Berat	9g
Dimensi	$22.2 \times 11.8 \times 31$ mm ($\pm$)
<i>Stall Torque</i>	1.8 kgf·cm
Kecepatan Operasional	0.1 s / 60°
Tegangan Operasional	4.8 V (~5 V)
<i>Dead Band Width</i>	10 μ s

2.13. Raspberry Pi 27W USB-C Power Supply

Raspberry Pi 27W USB-C Power Supply dirancang khusus untuk mendukung kebutuhan daya Raspberry Pi 5, terutama bagi pengguna yang menggunakan periferal dengan konsumsi daya tinggi seperti *hard disk* maupun SSD melalui empat port USB Type A yang tersedia. Catu daya ini mampu memberikan keluaran maksimum sebesar 5,1V pada arus 5A, serta telah mendukung *USB Power Delivery* (PD). Dengan fitur tersebut, Raspberry Pi 5 dapat berkomunikasi dengan adaptor dan memilih profil daya yang sesuai. Alat dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Raspberry Pi 27W USB-C Power Supply

Sumber : [24]

Kemampuan ini memungkinkan Raspberry Pi 5 meningkatkan batas arus USB secara otomatis, dari standar 600mA menjadi 1,6A, sehingga perangkat

eksternal yang terhubung memperoleh suplai daya tambahan. Selain itu, adaptor ini juga menyediakan beberapa profil daya bawaan lainnya, sehingga dapat digunakan untuk perangkat pihak ketiga yang kompatibel dengan PD. Profil yang tersedia mencakup 9V/3A, 12V/2,25A, dan 15V/1,8A, dengan total daya maksimal 27W. Untuk spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Spesifikasi Raspberry Pi 27W USB-C *Power Supply*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Input</i>	100-240VAC
<i>Output</i>	5.1V, 5A; 9V, 3A; 12V, 2.25A; 15V, 1.8A (Power Delivery)
Konektor	USB-C
Kabel	1.2m 17AWG, putih atau hitam
Jenis colokan	• US, Canada (type A) • Europe (type C) • India (type D) • UK (type G) • Australia, New Zealand (type I)

2.14. HMI Nextion NX4827K043

Nextion adalah solusi Human Machine Interface (HMI) yang terintegrasi, yang menyediakan antarmuka kontrol dan visualisasi antara manusia dengan suatu proses, mesin, aplikasi, atau perangkat. Nextion umumnya digunakan pada bidang IoT atau elektronik konsumen, dan menjadi alternatif terbaik untuk menggantikan LCD tradisional maupun tabung LED Nixie. Dengan perangkat lunak Nextion Editor (unduh resmi), pengguna dapat membuat dan merancang antarmuka mereka sendiri untuk ditampilkan pada layar Nextion[25].

Pada penelitian ini, HMI digunakan untuk menampilkan antarmuka seperti “Deteksi 3 Barang?”, memilih deteksi otomatis atau manual, dan menampilkan output koordinat barang cacat hasil deteksi model YOLO. Untuk dapat mengetahui lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 2.13** dan spesifikasi pada **Tabel 2.11**.



Gambar 2.13 HMI Nextion NX4827K043

Tabel 2.11 Spesifikasi HMI Nextion NX4827K043

Spesifikasi	Keterangan
<i>Nextion models</i>	NX4827K043
Ukuran <i>layout</i>	120(L)×74(W)×6.2(H)
Resolusi	480×272 pixel
<i>Touches</i>	>1 juta kali sentuh
<i>Backlight</i>	LED
Umur <i>backlight</i> (rata-rata)	>30,000 jam
Voltase kerja	5V
Arus kerja	250mA

2.15. Raspberry Pi OS

Raspberry Pi OS, dulunya Raspbian OS merupakan sistem operasi berbasis Debian Linux yang dikembangkan secara khusus oleh Raspberry Pi. Sistem ini dirancang agar bekerja secara optimal pada perangkat Raspberry Pi, dan tersedia dalam dua varian, yaitu 32 bit dan 64 bit[26]. Untuk memaksimalkan penggunaan RAM pada Raspberry Pi 5, maka digunakan Raspberry Pi OS 64 bit. Dengan versi Debian yang digunakan adalah *Bookworm* atau versi 12. Tampilan Raspberry Pi OS dapat dilihat pada **Gambar 2.14**.

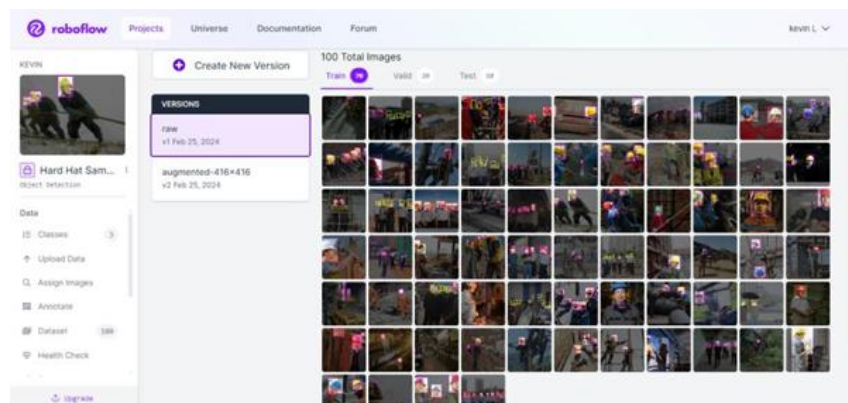


Gambar 2.14 Tampilan Raspberry Pi OS

Sumber : [27]

2.16. Roboflow

Roboflow adalah platform yang mempermudah pembuatan dan penerapan model computer vision seperti deteksi objek dan pengenalan citra. Platform ini mendukung berbagai format gambar, menyediakan augmentasi data, serta kompatibel dengan framework populer seperti TensorFlow, PyTorch, dan YOLO[28]. Roboflow digunakan untuk eksplorasi dataset dan *training* data. Tampilan website roboflow dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



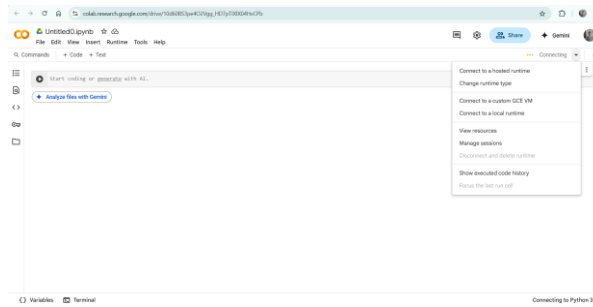
Gambar 2.15 Tampilan Website Roboflow

Sumber : [26]

2.17. Google Collaboratory

Google Collaboratory, atau dikenal sebagai Google Colab, merupakan layanan komputasi *cloud* berbasis Python yang disediakan oleh Google. Platform ini menyediakan lingkungan kerja yang menyerupai Jupyter Notebook, namun dapat dijalankan langsung di browser tanpa perlu instalasi lokal[26]. Google Colab membuat pengguna dapat menulis dan mengeksekusi kode Python secara interaktif, baik secara keseluruhan maupun sebagian, dalam sebuah virtual machine (VM) yang telah dilengkapi berbagai pustaka data science dan machine learning.

Salah satu keunggulan utamanya adalah dukungan akses ke GPU dan TPU gratis, yang memungkinkan pemrosesan komputasi berat seperti pelatihan model AI menjadi lebih efisien dan cepat. Selain itu, Google Colab terintegrasi langsung dengan Google Drive, memudahkan penyimpanan dan kolaborasi file berbasis *cloud*. Tampilan pada *Google Collaboratory* dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.

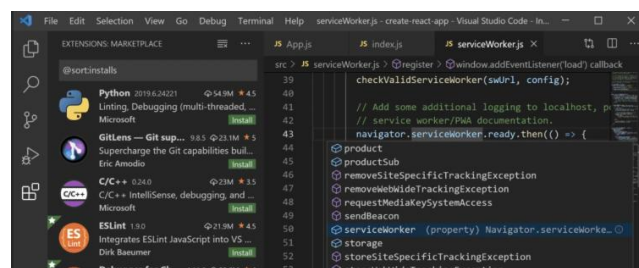


Gambar 2.16 Tampilan *Google Collaboratory*

2.18. Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) adalah editor kode sumber terbuka yang dikembangkan oleh Microsoft, dirancang untuk mendukung penulisan kode dalam berbagai bahasa pemrograman seperti Python, JavaScript, C++, dan banyak lagi. VS Code memiliki keunggulan dalam performa karena dibuat agar ringan dan responsif, sehingga cocok digunakan pada berbagai jenis komputer, termasuk yang memiliki spesifikasi terbatas.

Editor ini juga bersifat *multiplatform*, yang berarti dapat dijalankan secara lancar di berbagai sistem operasi utama seperti Windows, macOS, dan Linux[29]. Selain itu, Visual Studio Code menyediakan beragam ekstensi dan fitur seperti IntelliSense (autocomplete cerdas), debugging terintegrasi, dan integrasi Git, yang menjadikannya alat yang kuat namun fleksibel bagi pengembang perangkat lunak dari berbagai tingkat keahlian. Tampilan pada visual studio code dapat dilihat pada **Gambar 2.17**.



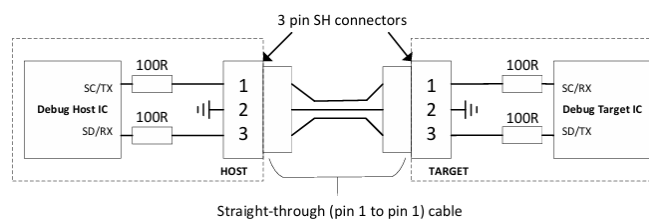
Gambar 2.17 Tampilan *Visual Studio Code*

Sumber : [29]

2.19. Protokol Komunikasi UART

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) adalah metode komunikasi serial yang sederhana dan efisien untuk menghubungkan Raspberry Pi dengan mikrokontroler seperti STM32. Sistem ini menggunakan dua pin utama: TX (transmit) untuk mengirim data dan RX (receive) untuk menerima data, ditambah satu pin GND. Raspberry Pi menyediakan konektor debug 3-pin standar, dengan pin 1 sebagai RX, pin 2 sebagai GND, dan pin 3 sebagai TX. Tegangan operasi UART di Raspberry Pi adalah 3.3V, dan STM32 dapat tetap terhubung selama pin yang digunakan tahan terhadap tegangan tersebut (failsafe)[30].

Untuk mengirim data, TX Raspberry Pi dihubungkan ke RX STM32, RX ke TX, dan GND ke GND. Komunikasi dapat dilakukan setelah UART di kedua perangkat dikonfigurasi dengan baud rate yang sama, misalnya 9600 bps. Resistor 100 Ohm biasanya ditambahkan di jalur TX dan RX untuk melindungi perangkat dari lonjakan arus dan meningkatkan kualitas sinyal. Skema koneksi UART dapat dilihat pada **Gambar 2.18**.



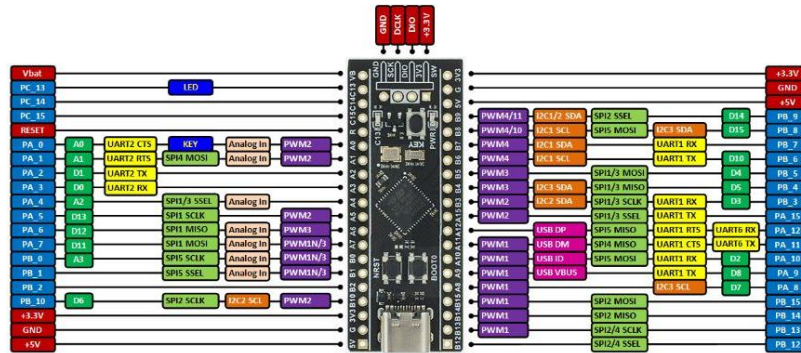
Gambar 2.18 Skema Koneksi UART

Sumber : [30]

2.20. STM32F411CEU6

STM32F411CEU6 adalah salah satu mikrokontroler dari keluarga STM32 yang dikembangkan oleh STMicroelectronics. Mikrokontroler ini dirancang untuk mendukung berbagai aplikasi embedded dengan performa tinggi dan efisiensi daya yang baik. Salah satu papan pengembangan berbasis STM32F411CEU6 hadir dengan berbagai fitur unggulan, seperti frekuensi kerja hingga 72 MHz, memori flash sebesar 512 KB, dan RAM (SRAM) sebesar 128 KB, yang memungkinkan eksekusi program lebih cepat dan penyimpanan data yang cukup luas. Selain itu, papan ini dilengkapi dengan kristal eksternal 4–26 MHz untuk presisi waktu yang

lebih baik serta sistem reset otomatis (Power-On Reset/Power-Down Reset) yang memastikan stabilitas saat start-up. Terdapat juga antarmuka USB Type-C yang mendukung suplai daya dan komunikasi data dengan perangkat lain[31]. *Pinout* dari STM32F411CEU6 dapat dilihat pada **Gambar 2.19** dan spesifikasi tercantum dalam **Tabel 2.12**.



Gambar 2.19 *Pinout* Diagram STM32F411CEU6

Sumber : [31]

Tabel 2.12 Spesifikasi STM32F411CEU6

Spesifikasi	Keterangan
Core	ARM Cortex M4
Program Memory Size	512 kB
Data Bus Width	32 bit
Maximum Clock Frequency	100 MHz
GPIO	36 I/O
Data RAM	128 kB
Communication Interfaces	I2C, SPI, USART, USB
Operating Voltage	1.7 – 3.6 V

Pada sistem ini, mikrokontroler STM32F411CEU6 berperan sebagai penerima data terkait barang cacat yang dikirim oleh Raspberry Pi 5, sekaligus sebagai pengendali lengan robot. Raspberry Pi 5 mengirimkan hasil deteksi melalui komunikasi UART ke STM32F411CEU6. Dengan demikian, lengan robot dapat mengetahui barang mana yang harus diambil yaitu barang yang dianggap barang

cacat. Implementasi sistem penggerak lengan robot ini dilakukan oleh Ihsanuddin Purnomo.

2.21. MTECH UW-01 USB 2.0 *Wireless Wifi Dongle*

UW-01 (dijual juga dengan nama LV-UW01 / varian OEM) adalah dongle USB mini berbasis USB 2.0 untuk pita 2.4 GHz (IEEE 802.11b/g/n) dengan klaim throughput sampai ~150 Mbps (teoritis, 802.11n single-stream). Desainnya kecil dan plug-and-play pada banyak sistem Windows; pada Linux (termasuk Raspberry Pi OS) kompatibilitas bergantung pada chipset internal — beberapa varian menggunakan chipset yang sudah didukung kernel (mis. MT7601U), namun varian lain memakai chipset Realtek yang mungkin perlu driver/firmware tambahan. Untuk Raspberry Pi 5, banyak adapter USB yang “langsung jalan” jika chipset didukung oleh kernel. Alatnya dapat dilihat pada **Gambar 2.20**. Serta spesifikasinya dapat dilihat pada **Tabel 2.13**. Wifi dongle ini digunakan sebagai sumber internet Raspberry Pi 5.



Gambar 2.20 MTECH UW-01

Sumber : [32]

Tabel 2.13 Spesifikasi MTECH UW-01

Spesifikasi	Keterangan
Antarmuka	USB 2.0 (USB A male)
Standar nirkabel	IEEE 802.11n / 802.11g / 802.11b (2.4 GHz)
Frekuensi	2.400 – 2.4835 GHz (2.4 GHz band)
Kecepatan teoretis	Hingga 150 Mbps (dynamic, single-stream 802.11n)
Mode operasi	Infrastruktur (client) / Ad-Hoc
Keamanan nirkabel	WEP, WPA-PSK, WPA2-PSK, 802.1x
Sistem operasi	<i>Plug-and-play</i>

2.22. Hollow Galvanis Steel

Hollow galvanis steel atau baja galvanis berongga adalah pipa baja berbentuk tabung atau persegi yang telah melalui proses pelapisan seng (zinc) untuk meningkatkan ketahanan terhadap karat dan korosi. Material ini menjadi pilihan karena harganya lebih terjangkau dibandingkan stainless steel. Selain itu, permukaan galvanis yang tidak terlalu memantulkan cahaya mempermudah sistem kamera vision dalam mendeteksi cacat pada material.

Besi hollow galvanis juga sering disebut sebagai pipa kotak galvanis, pipa hollow galvanis, besi kotak galvanis, atau holo galvanis. Lapisan pelindung galvanisnya terdiri dari sekitar 97% seng (zinc), $\pm 1\%$ aluminium, dan sedikit unsur lainnya. Tujuan dari pelapisan ini adalah untuk melindungi permukaan besi agar tidak mudah mengalami karat akibat goresan atau pemotongan[33]. *Hollow galvanis steel* dapat dilihat pada **Gambar 2.21**.



Gambar 2.21 *Hollow Galvanis Steel*

Sumber : [33]

2.23. Kecacatan Produk

2.21.1. Goresan (*Scratch*)

Kecacatan produk adalah barang yang dihasilkan melalui proses produksi tetapi memiliki kekurangan sehingga kualitasnya menjadi kurang baik atau tidak sempurna[34]. Secara umum, kecacatan produk dapat dikategorikan berdasarkan jenisnya yakni dimensional, visual, dan struktural. Salah satu bentuk cacat visual terutama terletak pada permukaan logam yang sering ditemui adalah goresan/*scratch*. Goresan adalah guratan atau alur linear akibat kontak dengan

benda keras/kasar. Goresan biasanya memiliki bentuk garis lurus atau melengkung dengan tepi yang tegas.

Goresan ini disebabkan oleh gesekan benda tajam tapi relatif tipis sehingga menghasilkan pola dengan tingkat ketebalan sedang dan tegas. Pada penelitian ini, goresan disebabkan oleh gesekan antara benda tajam seperti *cutter* dengan permukaan *hollow galvanis steel*. Gesekan tersebut cukup kuat sehingga menimbulkan pola goresan yang jelas. Contoh goresan dapat dilihat pada **Gambar 2.22**.

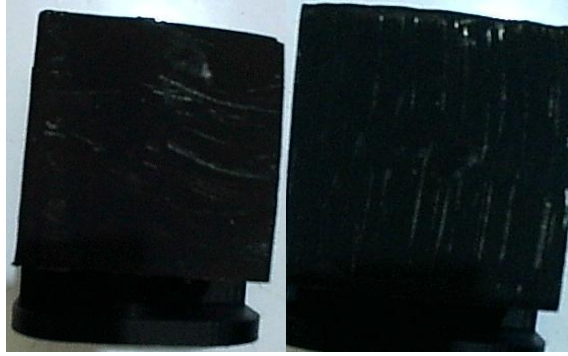


Gambar 2.22 Cacat goresan (*scratch*)

2.21.2. Bekas Kuas (*Brush Marks*)

Brush marks adalah jejak atau garis-garis yang terlihat pada permukaan cat yang disebabkan oleh penggunaan kuas. Cacat ini sering muncul pada cat kayu atau logam dan dapat mengurangi kualitas estetika hasil pengecatan[35]. Penyebab umum dari *brush marks* ini diantaranya penggunaan kuas berkualitas rendah, pengecatan dilakukan pada lapisan cat yang belum kering sempurna, penggunaan cat dengan viskositas tinggi atau terlalu kental, dan teknik aplikasi yang tidak tepat.

Pada penelitian ini, *brush marks* disebabkan oleh kesengajaan dan tidak kesengajaan penulis untuk tidak memberikan kekentalan yang cukup. Selain itu, penulis mengaplikasikan cat yang kurang beraturan dan tidak merata. Untuk bentuk cacat dari *brush marks* ini dapat dilihat pada **Gambar 2.23** yang diambil dari dataset penulis.



Gambar 2.23 Cacat *brush marks*

2.21.3. Terkelupas (*Chipping*)

Chipping adalah kerusakan pada lapisan cat yang berupa serpihan kecil yang terlepas, biasanya disebabkan oleh benturan benda keras seperti batu atau kerikil. Penyebab umum dari *chipping* ini diantaranya benturan fisik dengan objek keras saat kendaraan bergerak dan kualitas cat yang kurang baik atau tidak sesuai dengan standar[36].

Pada penelitian ini, *chipping* disebabkan oleh benturan antar *hollow galvanis steel* yang terjadi secara alami akibat guncangan dari kendaraan pengangkut besi. Selain itu, gesekan yang disengaja oleh penulis dengan menggunakan ujung dari *hollow galvanis steel* untuk melukai permukaan *hollow galvanis steel* lainnya sehingga catnya terkelupas dan menghasilkan cacat *chipping*. Untuk dapat mengetahui lebih jelas bentuk cacat dari *chipping*, disediakan di **Gambar 2.24**.



A



B

Gambar 2.24 A. Chipping ukuran besar B. Chipping ukuran kecil