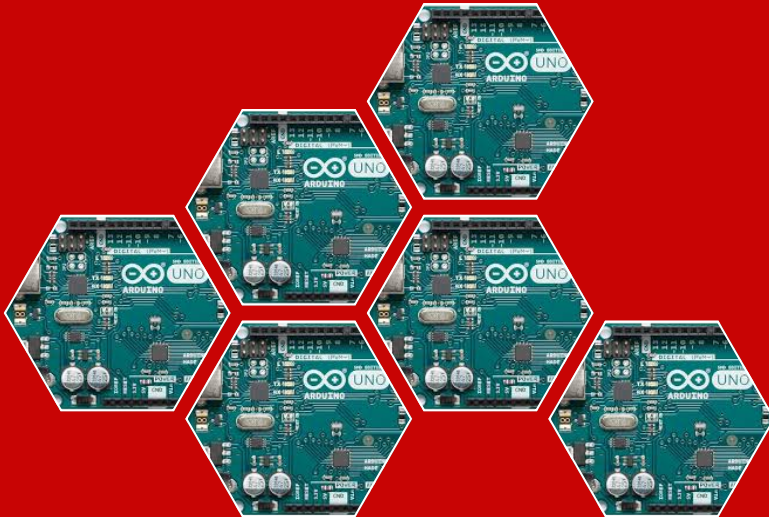


**PROTOTIPE SISTEM DETEKSI DAN PENANGANAN CACAT PADA
KONTAINER KIMIA UNTUK AREA INDUSTRI-TERISOLASI
BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN LENGAN ROBOT**



**ALRIDHO
H021211006**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**PROTOTIPE SISTEM DETEKSI DAN PENANGANAN CACAT PADA
KONTAINER KIMIA UNTUK AREA INDUSTRI-TERISOLASI
BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN LENGAN ROBOT**

**ALRIDHO
H021211006**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**PROTOTIPE SISTEM DETEKSI DAN PENANGANAN CACAT PADA
KONTAINER KIMIA UNTUK AREA INDUSTRI-TERISOLASI
BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN LENGAN ROBOT**

ALRIDHO
H021211006

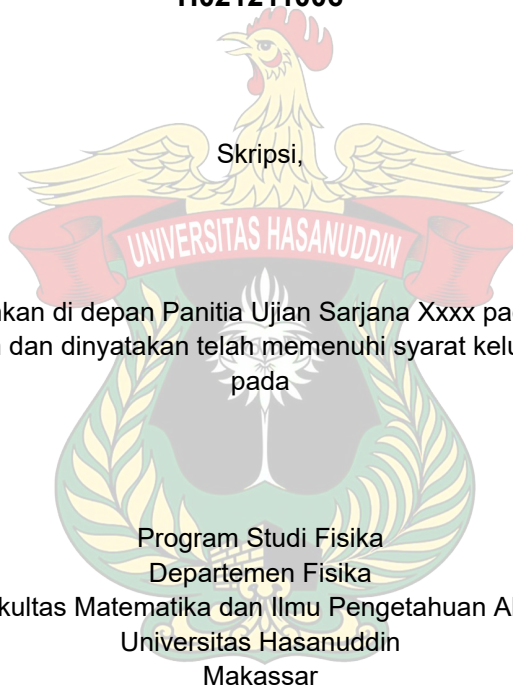
Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Fisika

pada

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

SKRIPSI**PROTOTIPE SISTEM DETEKSI DAN PENANGANAN CACAT PADA
KONTAINER KIMIA UNTUK AREA INDUSTRI-TERISOLASI
BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN LENGAN ROBOT****ALRIDHO
H021211006**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Xxxx pada tanggal bulan
tahun dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Fisika
Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,

Mengetahui:
Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 19670520 199403 1 002

Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul **“PROTOTIPE SISTEM DETEKSI DAN PENANGANAN CACAT PADA KONTAINER KIMIA UNTUK AREA INDUSTRI-TERISOLASI BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN LENGAN ROBOT”** adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Arifin, M.T). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, XX Juni 2025

Aldidho
H021211006

UCAPAN TERIMA KASIH

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Fusce malesuada non dui quis condimentum. Etiam dapibus ligula sapien:

1. Items are numbered automatically.
2. The numbers start at 1 with each use of the `enumerate` environment.
3. Another entry in the list.

Makassar, XX Juni 2025

Aldidho
H021211006

ABSTRAK

Alridho. **JUDUL BAHASA INDONESIA** (dibimbing oleh Prof. Dr. Arifin, M.T.).

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Kata Kunci: Prototipe; monitoring; IoT; sensor; telegram.

ABSTRACT

Alridho. **JUDUL BAHASA INGRRIS** (dibimbing oleh Prof. Dr. Arifin, M.T.).

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Kata Kunci: Prototipe; monitoring; IoT; sensor; telegram.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 Metode Penelitian	4
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian	4
2.2 Peralatan Penelitian	4
2.3 Metode Kerja	4
2.3.1 Perancangan <i>Hardware</i>	6
2.3.2 Perancangan <i>Software</i>	7
2.3.3 Bagan Alir Sistem Kerja Alat	9
BAB 3 HASIL DAN PEMBAHASAN	10
3.1 Hasil Perancangan Sistem	10
3.1.1 Hasil Perancangan Sistem	10
3.1.2 Hasil Perancangan Sistem	10
3.2 Hasil Pengujian Sistem	10
BAB 4 KESIMPULAN	11
4.1 Kesimpulan	11
4.2 Saran	11

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya perkembangan Artificial Intelligence (AI), robotika, dan otomatisasi, penggunaan lengan robot otomatis semakin meluas di sektor manufaktur, logistik, dan layanan [1]. Otomatisasi bertujuan untuk menjalankan rangkaian tindakan sesuai dengan proses yang telah ditetapkan tanpa intervensi manusia, dengan mengendalikan perangkat mekanis secara otomatis [2]. Lengan robot mampu melakukan berbagai tugas, seperti perakitan, penanganan, dan pengemasan, sehingga manusia tidak perlu lagi melakukan pekerjaan yang berulang-ulang [3]. Dalam industri manufaktur, lengan robot sering dipadukan dengan sensor kamera, algoritma visi komputer, dan teknologi otomatisasi guna mendeteksi cacat pada objek dengan tingkat presisi dan efisiensi yang tinggi.

Dalam konteks industri, terutama pada penanganan material berbahaya seperti kontainer kimia, aspek keamanan menjadi prioritas utama. Inspeksi visual otomatis menggunakan robot diperlukan untuk mengurangi risiko paparan zat berbahaya kepada manusia. Selain itu, isolasi dalam proses deteksi cacat pada kontainer kimia sangat penting, karena kerusakan atau kontaminasi pada kontainer dapat menimbulkan risiko keselamatan bagi konsumen. Tingkat kesalahan inspeksi manual juga cukup tinggi, berkisar 20% hingga 30%. Beberapa faktor yang menyebabkan kesalahan ini, termasuk kelelahan, stres, kesendirian, pencahayaan yang tidak memadai, dan kurangnya pengalaman [4]. Peningkatan penggunaan robot juga meningkatkan produktivitas tenaga kerja sebesar 0,36% per tahun, meningkatkan produktivitas total, dan menurunkan harga output [5]. Penelitian juga menunjukkan, antara tahun 2005 dan 2011, jumlah robot per 1.000 pekerja meningkat sebesar 25%, yang menyebabkan penurunan 72.658 cedera kerja per tahun. Penurunan cedera ini diperkirakan menghemat \$1,67 miliar (sekitar Rp27,3 triliun) per tahun, atau total \$11,69 miliar (sekitar Rp191,2 triliun) selama periode tersebut [6]. Oleh karena itu, penerapan metode otomatis yang tepat untuk mendeteksi cacat dan kontaminan sangat krusial guna menjamin keamanan, mencapai skalabilitas, dan meningkatkan efisiensi biaya.

Algoritma deep learning berupa Autoencoder dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi anomali dan cacat permukaan [7]. Model autoencoder, khususnya Convolutional Autoencoder (CAE), dapat dilatih hanya dengan sampel bebas cacat [8]. CAE bekerja dengan meminimalkan kesalahan rekonstruksi sehingga fitur-fitur representatif dapat teridentifikasi secara optimal. Dengan melatih model pada data normal, setiap sampel yang mengandung cacat pada tahap evaluasi akan menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan data bebas cacat yang telah dilatih [9]. Pendekatan ini sangat berguna ketika pengumpulan data cacat terbukti sulit atau mahal.

Berbagai studi telah memanfaatkan YOLO bersama lengan robot untuk

beragam aplikasi. Liang Wang (2024) mengembangkan model kontrol lengan robot berbasis YOLO yang lebih efisien untuk menggenggam komponen logam secara akurat di lingkungan industri yang kompleks [10]. Hirohisa Kato dkk. (2022) mengusulkan metode deteksi objek parsial dan estimasi kedalaman menggunakan kombinasi YOLO dan CNN untuk mengontrol lengan robot, yang terbukti efektif dalam eksperimen pengambilan objek dengan robot 4DOF [11]. Munhyeong Kim (2021) menerapkan YOLO dalam metode genggam robot untuk deteksi dan pemilahan sampah secara real-time, dengan pendekatan pembatasan area pasca deteksi objek [12]. Tantan Jin (2024) mengembangkan versi peningkatan dari YOLOv8n dengan integrasi modul dilated re-parameterization, feature pyramid, dan Scylla-loU loss untuk meningkatkan akurasi dan adaptabilitas lengan robot pemetik apel dalam kondisi kebun yang kompleks [13].

Sementara itu, Autoencoder adalah model jaringan saraf dalam yang dilatih untuk merekonstruksi data input, dan digunakan dalam deteksi cacat dengan membandingkan perbedaan signifikan antara input normal dan hasil rekonstruksi dari data yang mengandung cacat. Andrea Bionda (2022) menerapkan autoencoder dengan fungsi loss berbasis CW-SSIM untuk mendeteksi anomali pada citra industri, yang terbukti lebih efisien dibandingkan jaringan saraf besar lainnya [14]. Huitaek Yun (2021) mengusulkan pendekatan autoencoder untuk mendeteksi kerusakan pada lengan robot industri berdasarkan sinyal suara internal, dengan memanfaatkan citra spektrogram STFT [15]. Haoyang Jia (2022) memperkenalkan model deteksi anomali dengan struktur encoder-decoder-encoder (EDE) dan pelatihan dua tahap, yang menggabungkan rekonstruksi dan pendekatan konfrontasi generatif [16]. Nejc Kozamernik (2025) mengembangkan FuseDecode Autoencoder, yang menerapkan pembelajaran bertahap mulai dari tanpa supervisi, semi-supervisi, hingga supervisi campuran, dan menunjukkan keunggulan dalam deteksi cacat pada data industri nyata serta dataset MVTec AD [17]. Patrick Ruediger-Flore (2024) membandingkan klasifikasi biner dan autoencoder dalam deteksi anomali citra untuk proses perakitan rangka, khususnya pada kesalahan posisi dan rotasi komponen, dan menyimpulkan bahwa autoencoder lebih unggul dalam mendeteksi anomali halus serta fleksibel terhadap data terbatas [18].

Kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam inspeksi industri mendorong pemanfaatan AI dan robotika. Deteksi cacat secara otomatis, terutama dalam penanganan material berbahaya, sangat penting untuk memastikan kualitas produk dan keselamatan manusia. Autoencoder merupakan algoritma yang efektif karena kemampuannya untuk belajar dari data normal sekaligus mengidentifikasi anomali. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengoptimalkan penerapan autoencoder dalam mendeteksi cacat permukaan, sehingga dapat berkontribusi pada kemajuan manufaktur yang cerdas dan berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin didapatkan dalam penelitian yaitu:

1. Merancang dan melatih model deteksi objek berbasis YOLO yang mampu mengenali kontainer kimia secara akurat dalam berbagai kondisi.
2. Membangun model deteksi kecacatan menggunakan algoritma Convolutional Autoencoder yang efektif dalam membedakan antara kontainer cacat dan tidak cacat.
3. Mengintegrasikan model deteksi objek dan deteksi kecacatan ke dalam sistem berbasis lengan robot untuk proses identifikasi dan penyortiran otomatis.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin didapatkan dalam penelitian yaitu:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem deteksi objek yang cepat dan akurat di lingkungan industri, khususnya untuk aplikasi inspeksi visual kontainer kimia dalam kondisi nyata yang bervariasi.
2. Menyediakan solusi efektif dalam mendeteksi kecacatan secara otomatis, yang dapat menggantikan metode inspeksi manual yang memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia (human error).
3. Mendorong otomatisasi penuh dalam proses identifikasi dan penyortiran kontainer kimia, sehingga meningkatkan efisiensi produksi, menurunkan biaya operasional, dan memperkecil risiko kesalahan klasifikasi dalam sistem manufaktur.

BAB 2

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

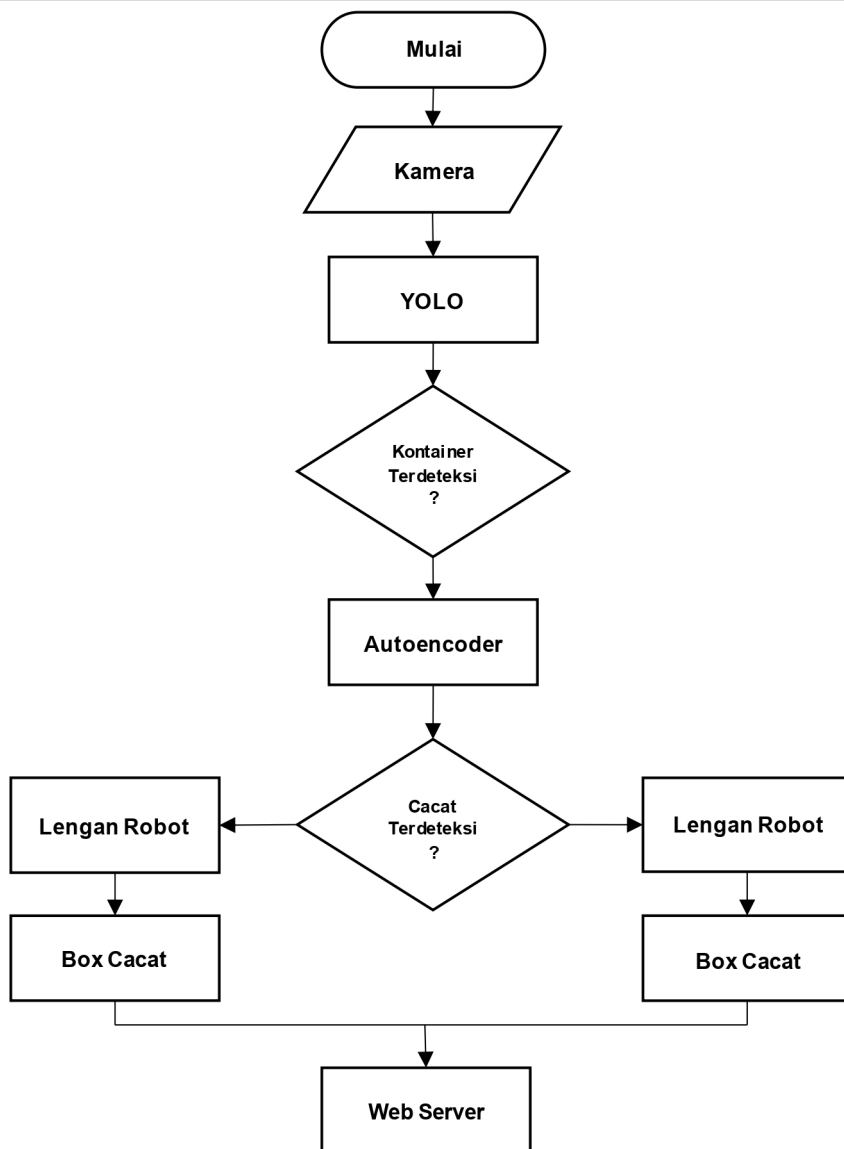
Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Februari 2025 hingga Juni 2025, bertempat di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Peralatan Penelitian

- Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut
1. Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan motor servo pada lengan robot serta menerima sinyal dari sensor.
 2. Motor Servo digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan bagian-bagian lengan robot sesuai perintah dari Arduino.
 3. Lengan Robot EEZYbotARM MK1 berfungsi sebagai struktur mekanik yang menjadi tempat pemasangan motor servo dan berperan sebagai sistem pergerakan robotik.
 4. Power Supply 5V berfungsi memberikan catu daya stabil untuk motor servo agar dapat beroperasi dengan baik.
 5. Sensor PIR HC-SR501 mendeteksi gerakan dan membantu menghitung jumlah kontainer cacat dan non-cacat yang lewat.
 6. Kamera digunakan untuk mengambil gambar kontainer kimia, yang kemudian diproses oleh model deteksi (YOLO) dan deteksi cacat (Autoencoder).
 7. Laptop/Komputer digunakan untuk mengunggah program ke Arduino Uno, serta menjalankan model deteksi berbasis YOLO dan Autoencoder untuk analisis visual.
 8. Kabel Jumper berfungsi menghubungkan berbagai komponen elektronik seperti sensor dan aktuator ke papan rangkaian dan Arduino. Kabel Jumper berfungsi menghubungkan setiap komponen sensor.
 9. Papan rangkaian berfungsi untuk menyediakan jalur koneksi antar komponen.

2.3 Metode Kerja

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, tahapan penelitian dapat dilihat pada flowchart Gambar 1. Penelitian ini dibatasi pada perancangan dan pembuatan prototipe sistem deteksi cacat.



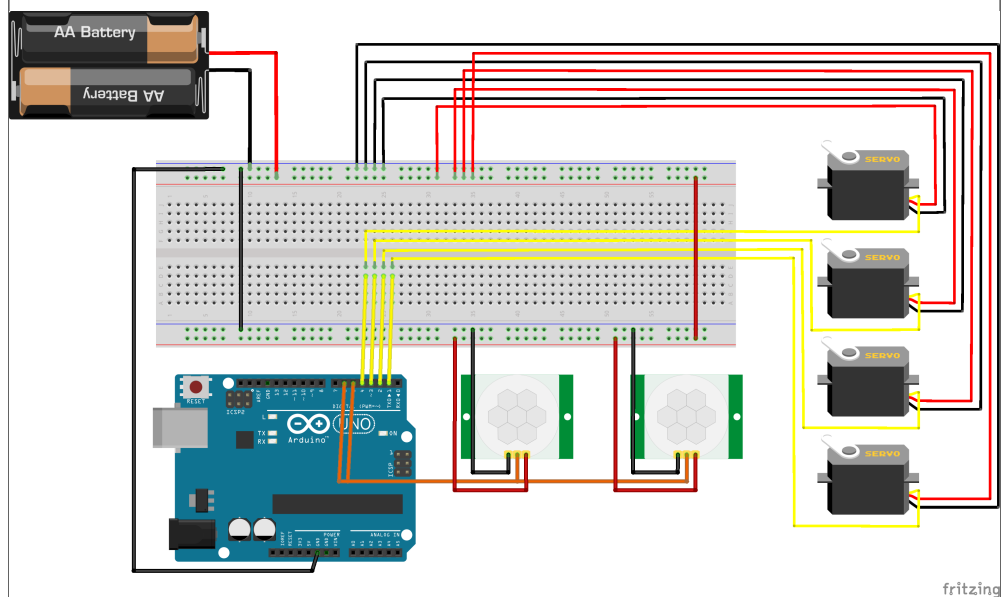
Gambar 1. Bagan alir penelitian

Tahapan dimulai dengan kajian mendalam terhadap teknologi robotik, algoritma Autoencoder untuk deteksi anomali visual, serta metode deteksi objek seperti YOLO (You Only Look Once), guna memperoleh pemahaman komprehensif tentang konsep dasar, format dataset, dan teknik perancangan model untuk mendeteksi cacat pada kontainer kimia. Setelah pemahaman awal diperoleh, dilakukan perancangan sistem yang mencakup perangkat keras (lengan robot dan sensor) serta perangkat lunak berupa algoritma machine learning. Selanjutnya, sistem robot dikalibrasi agar dapat bekerja secara optimal, termasuk proses tuning hyperparameter pada model pembelajaran mesin. Jika sistem telah berfungsi sesuai

dengan yang diharapkan, maka dilanjutkan dengan proses pengambilan data sebagai langkah awal dalam pengujian dan validasi model.

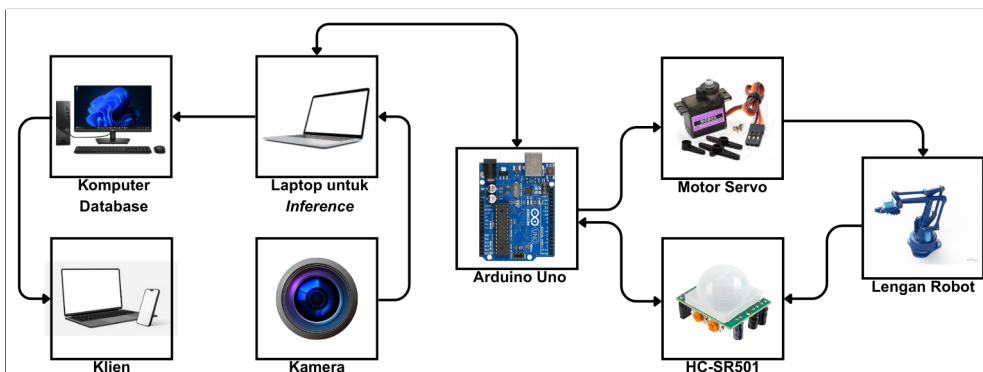
2.3.1 Perancangan *Hardware*

Penelitian ini dimulai dengan tahap perancangan hardware. Komponen hardware yang digunakan meliputi kamera untuk mengambil gambar kontainer kimia, laptop sebagai pusat pemrosesan dan eksekusi algoritma pembelajaran mesin, serta motion sensor untuk menghitung jumlah kontainer kimia, baik yang cacat maupun yang tidak. Adapun rancangan hardware dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Sistem diawali saat kamera menangkap gambar kontainer kimia yang diletakkan di area pengambilan gambar. Gambar ini diproses oleh model deteksi objek (YOLO) untuk mengenali keberadaan kontainer sebelum tahap deteksi cacat. Selanjutnya, gambar yang telah dikenali dikirim ke model deteksi kecacatan berbasis Convolutional Autoencoder untuk menentukan apakah kontainer mengalami cacat atau tidak. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sinyal dikirimkan ke mikrokontroler Arduino untuk menggerakkan servo sebagai respon terhadap kondisi kontainer. Lengan robot kemudian mengambil kontainer kimia dan memindahkannya ke wadah yang sesuai, tergantung pada hasil deteksi—apakah kontainer tersebut cacat atau tidak. Untuk memantau dan menghitung jumlah kontainer yang telah dipindahkan, dua motion sensor dipasang pada masing-masing wadah (cacat dan noncacat). Data dari sensor ini dikirim ke web server, yang menyediakan API untuk dikonsumsi agar data jumlah kontainer dapat ditampilkan ke klien secara real-time. Secara keseluruhan, keterkaitan antar komponen perangkat keras dalam sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3.

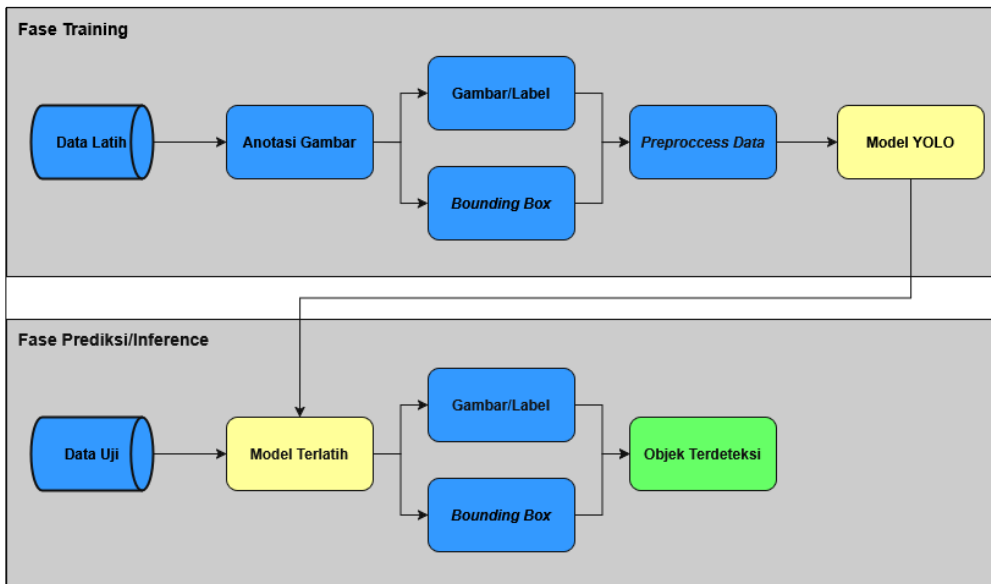


Gambar 3. Rancang sistem *hardware*

2.3.2 Perancangan *Software*

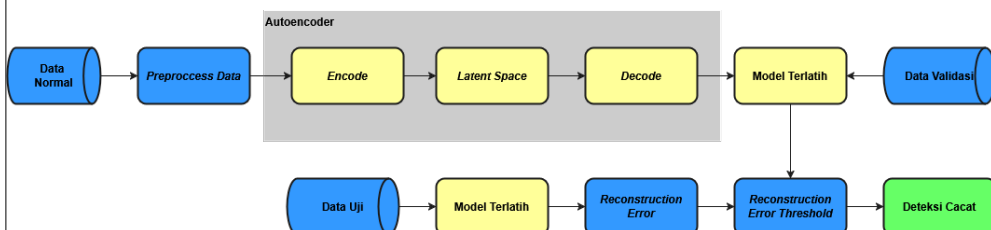
Perangkat lunak dalam penelitian ini mencakup perancangan beberapa algoritma inti. Pertama, dirancang model deteksi objek berbasis YOLO untuk mengenali kontainer kimia pada citra yang diambil oleh kamera. Kedua, digunakan Convolutional Autoencoder sebagai model untuk mendeteksi cacat atau anomali visual pada kontainer. Selain itu, dirancang pula algoritma kontrol untuk mengatur pergerakan lengan robot dalam mengambil dan memindahkan kontainer berdasarkan hasil klasifikasi. Sistem ini juga terintegrasi dengan modul IoT untuk menampilkan data kontainer cacat dan non-cacat pada klien secara real-time.

Tahap perancangan model deteksi objek dimulai dengan pengumpulan dataset berupa gambar kontainer kimia dari berbagai kondisi dan sudut pandang menggunakan kamera, yang nantinya dipasang bersama lengan robot. Setelah gambar terkumpul, dilakukan proses anotasi dengan memberikan label dan bounding box pada setiap kontainer sesuai dengan format yang dibutuhkan oleh algoritma YOLO. Dataset yang telah dianotasi kemudian digunakan untuk melatih model deteksi objek. Tujuannya agar model mampu mendeteksi kontainer kimia secara akurat dan cepat dalam berbagai situasi, misalnya ketika kontainer berada dalam posisi miring. Setelah proses pelatihan selesai, model dievaluasi menggunakan data uji yang belum pernah dilihat sebelumnya. Evaluasi dilakukan menggunakan beberapa metrik seperti precision, recall, dan mean Average Precision (mAP), guna memastikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan layak diterapkan di sistem robotik secara real-time. Pipeline perancangan model deteksi objek dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram *pipeline* pelatihan model YOLO

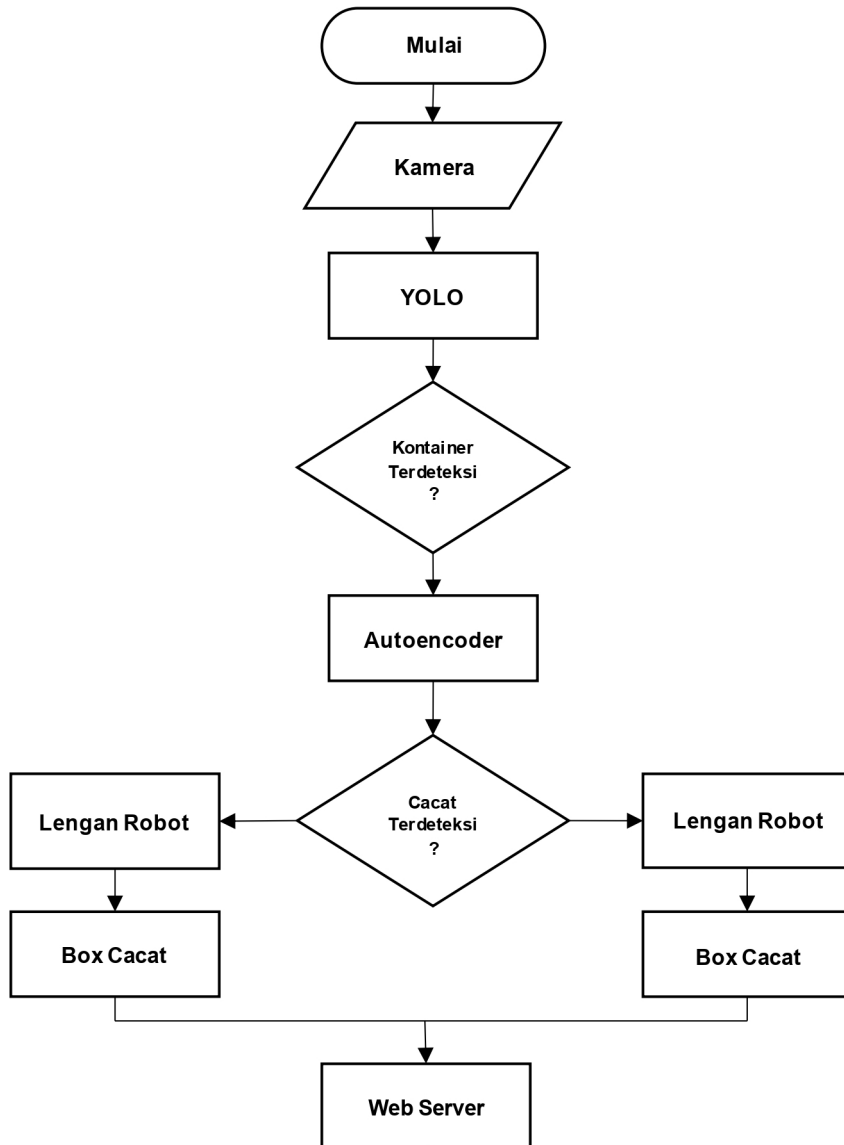
Berikutnya adalah tahap pembangunan model deteksi cacat menggunakan algoritma Convolutional Autoencoder. Tahap ini menggunakan dataset yang sama seperti yang digunakan pada pelatihan model YOLO, namun tanpa menggunakan anotasi bounding box karena sifat unsupervised dari autoencoder. Data diproses melalui tahap preprocessing seperti resizing, normalisasi, dan augmentasi (rotasi, flipping, pencahayaan) untuk meningkatkan variasi. Model dirancang dengan dua komponen utama: encoder untuk mengekstraksi fitur penting dan menghasilkan representasi berdimensi rendah (latent space), serta decoder untuk merekonstruksi gambar dari representasi tersebut. Setelah arsitektur selesai dan data siap, model dilatih untuk meminimalkan perbedaan antara gambar asli dan hasil rekonstruksi, sehingga mampu mengenali citra normal secara akurat. Evaluasi dilakukan dengan menghitung reconstruction error, yang digunakan untuk membedakan antara gambar normal dan cacat. Ambang batas deteksi ditentukan melalui analisis distribusi error pada data validasi. Pipeline perancangan model deteksi cacat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram *pipeline* pelatihan model deteksi cacat

2.3.3 Bagan Alir Sistem Kerja Alat

Bagan alir sistem kerja alat terdiri dari 2 bagian yakni sistem slot parkir dan sistem gerbang parkir. Perancangan bagan alir sistem kerja alat secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bagan alir sistem kerja alat

BAB 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Sistem

3.1.1 Hasil Perancangan Sistem

3.1.2 Hasil Perancangan Sistem

3.2 Hasil Pengujian Sistem

BAB 4

KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, analisis, dan implementasi alat yang telah digunakan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kesimpulan 1
2. Kesimpulan 2

4.2 Saran

Alat yang telah dibuat memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Saran 1
2. Saran 2

DAFTAR PUSTAKA

- Jhang, J. Y. & Lin, C. J. 2024. Jhang, Jyun-Yu, and Cheng-Jian Lin. Optimizing parameters of YOLO model through uniform experimental design for gripping tasks performed by an internet of things–based robotic arm. *Internet of Things* 27, 1-12. doi: 10.1016/j.iot.2024.101332.
- Oaki, J., Sugiyama, N., Ishihara, Y., Ooga, J., Kano, H. & Ohno, H. (2023). Micro-Defect Inspection on Curved Surface Using a 6-DOF Robot Arm with One-Shot BRDF Imaging. *IFAC-PapersOnLine* 56(2), 9354-9359. doi: 10.1016/j.ifacol.2023.10.224.
- Lin, C. J., Jhang, J. Y., Gao, Y. J. & Huang, H. M. 2024. Vision-based Robotic Arm in Defect Detection and Object Classification Applications. *Sensors & Materials* 36(2), 655-670. doi: 10.18494/SAM4683.
- Truong, A. M. & Luong, H. Q. 2024. A non-destructive, autoencoder-based approach to detecting defects and contamination in reusable food packaging. *Current Research in Food Science* 8, 1-12. doi: 10.1016/j.crfs.2024.100758.
- Graetz, G. & Michaels, G. 2018. Robots at work. *Review of economics and statistics* 100(5), 753-768. doi: 10.1162/rest_a_00754.
- Gihleb, R., Giuntella, O., Stella, L. & Wang, T. 2022. Industrial robots, workers' safety, and health. *Labour economics* 78, 1-12. doi: 10.1016/j.labeco.2022.102205.
- Tsai, D. M. & Jen, P. H. 2021. Autoencoder-based anomaly detection for surface defect inspection. *Advanced Engineering Informatics* 48, 1-12. doi: 10.1016/j.aei.2021.101272.
- Chen, Y., Ding, Y., Zhao, F., Zhang, E., Wu, Z. & Shao, L. 2021. Surface defect detection methods for industrial products: A review. *Applied Sciences* 11(16), 1-25. doi: 10.3390/app11167657.
- Liu, Y., Qiu, W., Fu, K., Chen, X., Wu, L. & Sun, M. 2025. An improved YOLOv8 model and mask convolutional autoencoder for multi-scale defect detection of ceramic tiles. *Measurement* 248, 1-11. doi: 10.1016/j.measurement.2025.116847.
- Wang, L. 2024. Robot arm grasping based on YOLOv5 in the perspective of automated production. *Engineering Research Express*, 6(4), 1-12. doi:10.1088/2631-8695/ad88dc.
- Kato, H., Nagata, F., Murakami, Y. & Koya, K. 2022. Partial depth estimation with single image using YOLO and CNN for robot arm control. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, 1727-1731. IEEE. doi: 10.1109/ICMA54519.2022.9856055.

- Kim, M. & Kim, S. 2021. YOLO-based robotic grasping. International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS) 21, 1120-1122. doi: 10.23919/ICCAS52745.2021.9649837.
- Jin, T., Han, X., Wang, P., Zhang, Z., Guo, J. & Ding, F. 2025. Enhanced deep learning model for apple detection, localization, and counting in complex orchards for robotic arm-based harvesting. Smart Agricultural Technology 10, 1-25. doi: 10.1016/j.atech.2025.100784.
- Bionda, A., Frittoli, L. & Boracchi, G. 2022. Deep autoencoders for anomaly detection in textured images using CW-SSIM. International Conference on Image Analysis and Processing, 669-680. doi: 10.1007/978-3-031-06430-2_56.
- Yun, H., Kim, H., Jeong, Y. H. & Jun, M. B. 2023. Autoencoder-based anomaly detection of industrial robot arm using stethoscope based internal sound sensor. Journal of Intelligent Manufacturing 34(3), 1427-1444. doi: 10.1016/j.ymssp.2004.10.013.
- Jia, H. & Liu, W. 2023. Anomaly detection in images with shared autoencoders. Frontiers in Neurorobotics 16, 1-11. doi: 10.3389/fnbot.2022.1046867.
- Kozamernik, N. & Bračun, D. 2025. A novel FuseDecode Autoencoder for industrial visual inspection: Incremental anomaly detection improvement with gradual transition from unsupervised to mixed-supervision learning with reduced human effort. Computers in Industry 164, 1-19. doi: 10.1016/j.compind.2024.104198.
- Ruediger-Flore, P., Klar, M., Hussong, M., Mukherjee, A., Glatt, M. & Aurich, J. C. 2024. Comparing Binary Classification and Autoencoders for Vision-Based Anomaly Detection in Material Flow. Procedia CIRP 121, 138-143. doi: 10.1016/j.procir.2023.09.241.