

**ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN
SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF
DRAINASE TERTUTUP BANDARA**

TUGAS AKHIR

Oleh:

NABILAH HASNA ARINDA

NIT. 56192110019



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR
UDARA PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG**

Juli 2025

**ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI
PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP
BANDARA**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan

Program Studi Sarjana Terapan

Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Oleh:

NABILAH HASNA ARINDA

NIT. 56192110019



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA

PROGRAM SARJANA TERAPAN

POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG

Juli 2025

ABSTRAK

ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP BANDARA

Oleh

NABILAH HASNA ARINDA

NIT: 56192110019

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Program Studi Sarjana Terapan

Inspeksi terhadap saluran drainase tertutup yang berada di area bandara merupakan salah satu bagian penting dalam kegiatan pemeliharaan preventif. Kegiatan ini bertujuan untuk memastikan seluruh fasilitas penunjang penerbangan, khususnya sistem drainase, dapat berfungsi dengan optimal dalam mendukung kelancaran operasional penerbangan. Sistem drainase tertutup sendiri memiliki peran yang sangat vital karena berfungsi untuk mengalirkan air hujan atau limpasan air lainnya agar tidak terjadi genangan di area sisi udara bandara, seperti *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Apabila saluran drainase ini tidak berfungsi dengan baik, risiko keselamatan penerbangan akan meningkat karena genangan air dapat menyebabkan tergelincirnya pesawat, keretakan struktur perkerasan, serta kerusakan lainnya yang akan berdampak pada terganggunya aktivitas bandara.

Namun demikian, metode inspeksi yang selama ini digunakan masih tergolong konvensional. Pada umumnya, proses inspeksi dilakukan secara manual oleh teknisi dengan cara masuk langsung ke dalam saluran drainase. Metode ini tentu memiliki berbagai keterbatasan, baik dari sisi akurasi hasil inspeksi, efisiensi waktu pengerjaan, maupun aspek keselamatan kerja. Kondisi fisik drainase yang sempit, gelap, lembab, serta minim sirkulasi udara menjadikan aktivitas ini memiliki risiko yang cukup tinggi bagi keselamatan teknisi. Selain itu, keterbatasan penglihatan dalam ruang gelap dan sempit juga mempengaruhi akurasi temuan dari proses inspeksi. Tidak jarang, potensi kerusakan atau penyumbatan justru luput terdeteksi.

Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk memberikan solusi inovatif melalui perancangan prototipe Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *Convolutional Neural Network* (CNN). RoKSi dirancang sebagai alat bantu inspeksi otomatis yang dapat menggantikan peran teknisi secara langsung dalam melakukan observasi di dalam saluran drainase tertutup. Sistem

RoKSi menggunakan komponen utama berupa ESP32 sebagai pengendali, ESP32-CAM sebagai kamera visualisasi, serta motor penggerak yang dapat dikendalikan secara real-time melalui antarmuka *website* berbasis jaringan lokal. Hal ini memungkinkan teknisi mengoperasikan RoKSi dari jarak jauh tanpa harus masuk ke dalam saluran yang sempit, sehingga aspek keselamatan lebih terjamin.

Dalam proses mendeteksi kondisi saluran, RoKSi dilengkapi dengan algoritma YOLOv11 yang sudah dilatih menggunakan dataset khusus mencakup objek-objek yang umum ditemukan di dalam drainase, seperti genangan air, lumpur, dan keretakan dinding. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu melakukan deteksi objek dengan akurasi yang cukup tinggi, yaitu dengan nilai mean Average Precision (mAP) sebesar 92%, precision 91%, dan recall 89%. Hal ini membuktikan bahwa RoKSi memiliki kapabilitas untuk memberikan hasil pengamatan yang akurat dan dapat diandalkan.

Dari sisi mobilitas, RoKSi dapat bergerak dengan stabil sepanjang 100 meter dengan kecepatan rata-rata 1 meter per detik. Selain itu, RoKSi mampu merespons perintah kendali dengan waktu rata-rata 889 milidetik hingga jarak kendali mencapai 25 meter. Performa ini menunjukkan bahwa alat memiliki kemampuan kendali yang baik dan responsif, mendukung efektivitas kerja inspeksi. Daya tahan operasional sistem juga telah diuji dan mampu mencapai 90 menit, lebih lama dari estimasi teoritis yaitu 71,4 menit, dengan konsumsi daya total sebesar 350,62 Watt.

Evaluasi terhadap penggunaan RoKSi dilakukan dengan melibatkan teknisi lapangan yang terbiasa melakukan pemeliharaan drainase. Hasilnya, tingkat kepuasan pengguna mencapai 94%, menandakan bahwa alat ini sangat membantu dalam meningkatkan akurasi, efisiensi kerja, serta keselamatan selama proses inspeksi berlangsung. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa RoKSi merupakan solusi efektif yang layak diterapkan dalam kegiatan pemeliharaan drainase tertutup, terutama di lingkungan bandara yang memiliki area dengan akses terbatas dan risiko keselamatan yang tinggi.

Kata kunci: Bandar Udara, *Convolutional Neural Network*, Drainase Tertutup, *Internet of Things*, Pemeliharaan Preventif

ABSTRACT

ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BASED ON IoT AND CNN AS A SUPPORT TO PREVENTIVE MAINTENANCE OF AIRPORT CLOSED DRAINAGE

By

NABILAH HASNA ARINDA

NIT: 56192110019

Program Study of Airport Engineering Technology

Applied Bachelor's Program

Inspection of closed drainage channels in the airport area is an important part of preventive maintenance activities. This activity aims to ensure that all aviation support facilities, particularly the drainage system, function optimally to support the smooth operation of aviation activities. The closed drainage system itself plays a vital role as it is designed to channel rainwater or other water runoff to prevent flooding in airport airside areas such as runways, taxiways, and aprons. If these drainage channels do not function properly, aviation safety risks increase because water accumulation can cause aircraft skidding, pavement structure cracks, and other damages that disrupt airport activities.

However, the inspection methods currently in use are still conventional. Generally, the inspection process is conducted manually by technicians by directly entering the drainage channels. This method has various limitations, including accuracy of inspection results, time efficiency, and workplace safety. The physical conditions of the drainage system—narrow, dark, damp, and with minimal air circulation—make this activity quite risky for technician safety. Additionally, limited visibility in dark and narrow spaces also affects the accuracy of inspection findings. It is not uncommon for potential damage or blockages to go undetected.

Therefore, this research aims to provide an innovative solution through the design of a Smart Inspection Robot (RoKSi) prototype based on Internet of Things (IoT) technology and Convolutional Neural Network (CNN). RoKSi is designed as an automated inspection tool that can directly replace technicians in conducting observations inside closed drainage channels. The RoKSi system uses main components such as the ESP32 as the controller, the ESP32-CAM as the visualisation camera, and a motor that can be controlled in real-time via a local network-based website interface. This allows technicians to operate RoKSi

remotely without having to enter the narrow channels, thereby ensuring greater safety.

In the process of detecting channel conditions, RoKSi is equipped with the YOLOv11 algorithm, which has been trained using a special dataset covering objects commonly found in drainage systems, such as water puddles, mud, and wall cracks. Based on test results, the system can detect objects with high accuracy, achieving a mean Average Precision (mAP) of 92%, precision of 91%, and recall of 89%. This demonstrates that RoKSi has the capability to provide accurate and reliable observation results.

In terms of mobility, RoKSi can move stably over a distance of 100 metres at an average speed of 1 metre per second. Additionally, RoKSi can respond to control commands with an average response time of 889 milliseconds at a control distance of up to 25 metres. This performance indicates that the device has good control capabilities and responsiveness, supporting the effectiveness of inspection work. The system's operational endurance has also been tested and can reach 90 minutes, longer than the theoretical estimate of 71.4 minutes, with a total power consumption of 350.62 Watts.

An evaluation of RoKSi's use was conducted involving field technicians experienced in drainage maintenance. The results showed a user satisfaction rate of 94%, indicating that the device significantly aids in improving accuracy, work efficiency, and safety during the inspection process. Therefore, it can be concluded that RoKSi is an effective solution worthy of implementation in closed drainage maintenance activities, particularly in airport environments with limited access areas and high safety risks.

Keywords: Airports, Closed Drainage, Convolutional Neural Network, Internet of Things, Preventive Maintenance,

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir: “ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP BANDARA” telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat lulus pendidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Bandar Udara Angkatan ke-2, Politeknik Penerbangan Palembang - Palembang.



Nama : NABILAH HASNA ARINDA

NIT : 56192110019

PEMBIMBING I

Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS.ASM.

Penata Tk.1 (III/d)

NIP. 19831213 201012 2 003

PEMBIMBING II

WAHYUDI SAPUTRA, S.Si.T., M.T.

Pembina (IV/a)

NIP. 19821107 200502 1 001

KETUA PROGRAM STUDI

Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si.

Pembina (IV/a)

NIP. 19810306 200212 1 001

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir: “ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP BANDARA” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Studi Sarjana Terapan Angkatan ke-2, Politeknik Penerbangan Palembang - Palembang. Tugas akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Sarjana pada tanggal 15 Juli 2025.

KETUA



Dr. Capt. AHMAD HARIRI, S.T., S.Si.T., M.

Pembina Tk.1 (IV/b)

NIP. 19700203 199503 1 001

SEKRETARIS



Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS.ASM.

Pembina (III/d)

NIP. 19831213 201012 2 003

ANGGOTA



MINULYA ESKA NUGRAHA, M.Pd.

Penata Muda Tk.1 (III/b)

NIP. 19880308 202012 1 006

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nabilah Hasna Arinda

NIT : 56192110019

Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir “ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP BANDARA” merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiarisme.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Palembang.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Palembang, Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Nabilah Hasna Arinda

NIT.56192110019

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir D- IV yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Politeknik Penerbangan Palembang, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Politeknik Penerbangan Palembang. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Hasna, Nabilah. (2025): ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP BANDARA, Tugas Akhir Program Diploma IV, Politeknik Penerbangan Palembang.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan, Politeknik Penerbangan Palembang.

*Dipersembahkan kepada
Kedua Orang Tua Tersayang, Papa Suarno dan Ibu Indina Listyaningsih*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Tugas Akhir ini berjudul “ROBOT PINTAR INSPEKSI (RoKSi) BERBASIS IoT DAN CNN SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF DRAINASE TERTUTUP BANDARA”.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu kurikulum di Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Politeknik Penerbangan Palembang. Ucapan terima kasih kepada segala pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terkhusus untuk Ibu Ir. Direstu Amalia, S.T., MS.ASM. dan Bapak Wahyudi Saputra, S.Si.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak saran baik berupa bimbingan, pengarahan, nasihat, masukan yang secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua dan saudara saya serta teman-teman yang selalu memberi semangat dan dukungan agar saya mampu menjalani perkuliahan dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak terkait, antara lain:

1. Bapak Dr. Capt. Ahmad Hariri, S.T., S.Si.T., M.Si., Selaku Direktur Politeknik Penerbangan Palembang.
2. Bapak Ir. M. Indra Martadinata, S.S.T., M.Si. Selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Bandar Udara Politeknik Penerbangan Palembang.
3. Bapak/Ibu dosen, admin prodi, staf pengajar dan teknisi Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Bandar Udara Politeknik Penerbangan Palembang.
4. Papa, Ibu, mas, dan adik saya yang selalu memberi bantuan, warna, dan kasih sayang serta menjadi semangat saya dalam menjalani kehidupan, hingga bisa berada di titik ini.
5. Teman-teman terdekat penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya dalam menyelesaikan laporan ini.

6. Teman-teman seperjuangan penulis Teknologi Rekayasa Bandar Udara Angkatan 02.
7. Kak Suci, Kak Jasmin, Alam, Tibur, Farah, Anjani, dan Nadya yang telah memiliki peran besar dan memberi semangat dan canda tawa.
8. Diri sendiri yang telah berjuang sejauh ini dan terus akan berjuang tanpa henti.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini dikarenakan keterbatasan waktu dan kemampuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, dengan senang hati penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi penyempurnaan Tugas Akhir ini agar laporan ini menjadi lebih baik lagi.

Palembang, Juli 2025

Penulis,



Nabilah Hasna Arinda

NIT. 56192110019

DAFTAR ISI

SAMPUL	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
PENGESAHAN PEMBIMBING.....	vii
PENGESAHAN PENGUJI.....	viii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ix
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan	3
E. Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Deskripsi Teori	5
B. Hasil Penelitian Yang Relevan.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
A. Pendekatan dan Jenis Penelitian.....	21
B. Teknik Analisa Data	29

C. Jadwal Pelaksanaan.....	33
D. Rancangan Anggaran Biaya (RAB).....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
A. Potensi dan Masalah	36
B. Pengumpulan Informasi.....	39
C. Desain Produk.....	42
D. Validasi Desain.....	53
E. Revisi Desain	54
F. Pembuatan Alat.....	58
G. Pengujian Kinerja Fungsional Sistem.....	64
H. Evaluasi Pengguna Lapangan	81
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	85
A. Kesimpulan	85
B. Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A RAB RoKSi	101
Lampiran B <i>Hasil Checklist Pemeliharaan Drainase Tertutup</i>	105
Lampiran C Standar Operasi Pemeliharaan Drainase Tertutup	106
Lampiran D Checklist <i>Observasi Inspeksi Drainase Tertutup</i>	107
Lampiran E Validasi Lembar Observasi	108
Lampiran F <i>Script</i> Wawancara.....	109
Lampiran G Hasil Turnitin.....	111
Lampiran H Lembar Bimbingan	112
Lampiran I Dokumentasi Pengujian di Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang	113
Lampiran J Angket Pengujian	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Inspeksi Saluran Air Tertutup di Bandara SMB II Palembang	8
Gambar II. 2 Gambar Drainase Terbuka dan Drainase Tertutup Bandar Udara SMB II Palembang	9
Gambar II. 3 Pemanfaatan IoT pada <i>Smart Airport</i>	12
Gambar II. 4 Struktur <i>Convolutional Neural Network</i>	14
Gambar IV. 1 Ilustrasi Perbandingan Tinggi Manusia dan Saluran Terkecil Drainase Tertutup Bandar Udara SMB II Palembang	36
Gambar IV. 2 Endapan Lumpur pada Saluran Drainase Tertutup	37
Gambar IV. 3 Inspeksi Saluran Air secara Manual	38
Gambar IV. 4 Kondisi dalam Drainase Tertutup	38
Gambar IV. 5 Inspeksi Saluran Dibantu Penerangan Senter	39
Gambar IV. 6 Keadaan Saluran Air Tertutup yang Terjangkau	40
Gambar IV. 7 Wawancara terhadap Teknisi <i>Airport Air Side Facilities</i> <i>Department</i>	41
Gambar IV. 8 <i>Wiring</i> RoKSi	42
Gambar IV. 9 Dimensi RoKSi	44
Gambar IV. 10 Perbandingan Ukuran RoKSi dan Saluran Air Terjangkau	44
Gambar IV. 11 Skema Pengoperasian RoKSi	52
Gambar IV. 12 Dokumentasi <i>Forum Group Discussion</i> bersama Tim AASFD Bandara SMB II Palembang	53
Gambar IV. 13 Tahap Revisi Desain RoKSi	54
Gambar IV. 14 <i>Wiring</i> RoKSi Terbaru	55
Gambar IV. 15 <i>Wiring Schematic</i> RoKSi Terbaru	55
Gambar IV. 16 Gambar Data Objek Penghambat	59
Gambar IV. 17 Data Pelabelan	59
Gambar IV. 18 Pembuatan Sistem AI pada RoKSi	61
Gambar IV. 19 Pembuatan <i>Hardware</i> RoKSi	62
Gambar IV. 20 <i>Finishing</i> Penutup Rangka RoKSi	63
Gambar IV. 21 <i>Flowchart</i> Pengoperasian RoKSi	64
Gambar IV. 22 Grafik Nilai <i>Training Box Loss</i>	65

Gambar IV. 23 Grafik Nilai <i>Training Distribution Focal Loss</i>	66
Gambar IV. 24 Grafik nilai <i>Classification Loss</i> saat <i>training</i>	66
Gambar IV. 25 Grafik Nilai <i>Precision</i> saat <i>training</i>	68
Gambar IV. 26 Grafik Nilai <i>Recall</i> saat <i>training</i>	68
Gambar IV. 27 Grafik Nilai <i>mean Average Precision (mAP)</i> Saat <i>Training</i>	69
Gambar IV. 28 Grafik Nilai <i>Box Loss</i> Saat <i>Validasi</i>	70
Gambar IV. 29 Grafik Nilai <i>Distribution Focal Loss</i> Saat <i>Validasi</i>	70
Gambar IV. 30 Grafik Nilai <i>Classification Loss</i> Saat <i>Validasi</i>	71
Gambar IV. 31 Hasil Uji <i>Testing</i>	72
Gambar IV. 32 Pengujian Tegangan.....	73
Gambar IV. 33 Dokumentasi Pengujian Respon Sistem IoT.....	77
Gambar IV. 34 Uji Coba Integrasi Sistem	77
Gambar IV. 35 Proses Pengujian Navigasi	79
Gambar IV. 36 Dokumentasi Evaluasi Pengguna Lapangan	81

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu.....	17
Tabel III. 1 Daftar Nama Teknisi AASFD.....	23
Tabel III. 2 Instrumen penelitian.....	25
Tabel III. 3 Keterangan Skala Likert.....	28
Tabel III. 4 Keterangan <i>Index Range</i>	29
Tabel III. 5 Teknik Pengujian Kinerja RoKSi	32
Tabel III. 6 Jadwal Pelaksanaan.....	34
Tabel IV. 1 Tampak Keseluruhan Desain RoKSi	43
Tabel IV. 2 Daftar Komponen RoKSi	45
Tabel IV. 3 Komponen yang Digunakan RoKSi	48
Tabel IV. 4 Revisi Desain	54
Tabel IV. 5 Tampak Keseluruhan Desain Terbaru RoKSi	58
Tabel IV. 6 Tabel <i>Log</i> Pengujian	73
Tabel IV. 7 Hasil Uji Lapangan	74
Tabel IV. 8 Hasil Pengujian	75
Tabel IV. 9 Hasil Pengujian Respon IoT	76
Tabel IV. 10 Hasil Status Uji Coba Integrasi Sistem.....	78
Tabel IV. 11 Data Hasil Pengujian Navigasi dan Mobilitas	79
Tabel IV. 12 Hasil Pengujian Kepuasan Pengguna	81

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian Pertama Kali pada Halaman
IoT	<i>Internet of Things</i>	3
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>	3
RoKSi	<i>Robot Pintar Inspeksi</i>	3
AASFD	<i>Airport Air Side Facilities Department</i>	22
RPM	<i>Rotation Per Minute</i>	40
R&D	<i>Research and Development</i>	21
FGD	<i>Forum Group Discussion</i>	48
mAP	<i>mean Average Precision</i>	60

LAMBANG

Ω	Kecepatan sudut	40
T	Torsi	40
P	Daya	40
v	Kecepatan linear roda	40
Q	Gaya dorong	40
J	<i>Advance ratio (V / nD)</i>	-
n	Jumlah putaran per waktu	40
D	Diameter roda	40

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri penerbangan global mengalami perkembangan signifikan dan menuntut penerapan standar keselamatan yang semakin tinggi (Hafsani & Fatmawati, 2022; Negara & Awan, 2023). Dalam konteks Indonesia, Undang-Undang No. 1 Tahun 2009 menegaskan bahwa keselamatan penerbangan adalah prioritas utama dalam penyelenggaraan angkutan udara. Infrastruktur bandara sebagai bagian penting dari sistem transportasi udara harus dijaga keandalannya melalui pemeliharaan yang tepat dan berkelanjutan (Sydorenko dkk., 2021). Peningkatan infrastruktur bandara bahkan dapat menurunkan biaya logistik hingga 15% sehingga upaya pemeliharaan yang efektif menjadi aspek strategis untuk menjamin keselamatan dan efisiensi operasional (Sever dkk., 2021). Untuk itu, perlu dipastikan bahwa operasi dalam proses pemeliharaan infrastruktur bandara dilakukan secara rasional. Hal ini dikarenakan selama kegiatan operasional berlangsung, seluruh infrastruktur pendukung bandara harus memenuhi standar keselamatan yang berlaku (Melgar dkk., 2024).

Pemeliharaan preventif menjadi solusinya. Kegiatan ini perlu dilakukan karena peran pentingnya dalam mengidentifikasi potensi kerusakan dan menentukan waktu intervensi untuk tindakan pencegahan sebelum kegagalan fungsional (Mangla, 2023; Rastegar dkk., 2024). Bahkan Iwarue (2025), mengungkapkan bahwa komitmen yang signifikan terhadap praktik pemeliharaan preventif, menyebabkan *downtime* yang diminimalisir serta biaya perbaikan yang berkurang. Salah satu komponen vital dalam infrastruktur bandara yang memerlukan pemeliharaan preventif adalah sistem drainase, khususnya drainase tertutup yang berfungsi mengalirkan air dari sisi udara untuk mencegah genangan dan kerusakan struktur landasan (Almahera dkk., 2020). Peraturan Dirjen Perhubungan Udara PR 21 Tahun 2023 menggarisbawahi pentingnya pemeliharaan fasilitas ini, mengingat saluran drainase yang tidak berfungsi optimal dapat menyebabkan retakan pada *runway* dan juga dapat membahayakan keselamatan penerbangan yang tentu saja

sangat merugikan pihak bandara dan pihak penumpang. Drainase tertutup, yang umumnya memiliki ruang terbatas dan berada di bawah permukaan tanah, membutuhkan metode inspeksi yang akurat dan aman guna memastikan keberfungsian sistem.

Namun, di lapangan masih ditemukan keterbatasan dalam pelaksanaan inspeksi drainase tertutup secara manual. Seperti yang terjadi di Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, di mana sebagian saluran sepanjang 437 meter tidak dapat dijangkau teknisi karena keterbatasan ruang dan kondisi lingkungan yang gelap, sempit, serta minim sirkulasi udara. Hal ini berisiko terhadap keselamatan teknisi dan menurunkan efektivitas pemeliharaan (Aktas & Kagnicioglu, 2023; Inzartsev dkk., 2019; Lazuardi dkk., 2022; Liang dkk., 2023a, 2023b). Selain itu, ditemukan penumpukan lumpur dan indikasi kebocoran saluran yang dapat menyebabkan tanah longsor (Jemberie dkk., 2023), menunjukkan lemahnya sistem inspeksi konvensional.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan modern seperti pemanfaatan robotika, *Internet of Things* (IoT), dan *Convolutional Neural Network* (CNN) menawarkan solusi inovatif terhadap tantangan tersebut. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi inspeksi infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan saluran tertutup (Halder & Afsari, 2023; Ilyas dkk., 2020; Lee dkk., 2023; Mahardika dkk., 2024; Upreti, 2022). CNN terbukti efektif dalam mendeteksi kerusakan struktural secara visual dan *real-time* (J. Chen dkk., 2024; Mohd dkk., 2023). Bahkan, L. Wang dkk. (2022) telah melakukan penelitian dengan memanfaatkan CNN dalam deteksi otomatis posisi deformasi tambang bawah tanah secara akurat dan efektif dalam mencegah dan mengendalikan bencana runtuh tambang. Namun, hasil studi terdahulu yang memanfaatkan teknologi CNN dan IoT sebagian besar masih terbatas pada inspeksi pipa, tambang, dan drainase berdiameter besar. Belum ditemukan penelitian yang secara khusus merancang sistem robotik inspeksi otomatis berbasis IoT dan CNN untuk saluran drainase tertutup berdiameter kecil di lingkungan bandara yang memiliki risiko keselamatan tinggi. Hal ini menjadi *gap* yang belum diisi dalam literatur dan praktik lapangan.

Novelty berupa pengembangan Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) yang dirancang khusus untuk medan drainase bandara yang sempit dan sulit dijangkau, dengan integrasi *real-time monitoring* berbasis IoT dan analisis visual menggunakan CNN, akan dikembangkan. Inovasi ini sekaligus menjawab kebutuhan pemeliharaan preventif infrastruktur bandara secara lebih efisien, aman, dan adaptif.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) berbasis IoT dan CNN sebagai solusi inovatif untuk menunjang pemeliharaan preventif drainase tertutup di bandara. Dengan kemampuan visualisasi *real-time*, pengendalian jarak jauh, dan deteksi kerusakan otomatis, RoKSi diharapkan dapat menjangkau area yang sulit diakses serta mengurangi risiko bagi teknisi (Yaacoub dkk., 2023). Penelitian ini bertujuan merancang prototipe sistem inspeksi modern yang adaptif, efisien, dan mendukung peningkatan keselamatan operasional di lingkungan bandara secara menyeluruh.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan analisis latar belakang yang telah disampaikan, penelitian ini akan mengangkat permasalahan utama yang menjadi fokus kajian. Adapun perumusan masalahnya adalah bagaimana merancang sistem robot inspeksi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Convolutional Neural Network* (CNN) yang efektif dan adaptif untuk mendukung pemeliharaan preventif drainase tertutup di bandara?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disediakan, penelitian akan terfokus pada perancangan prototipe Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk pemeliharaan preventif drainase tertutup di bandara.

D. Tujuan

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan penulisan proposal tugas akhir ini adalah merancang prototipe Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Convolutional Neural*

Network (CNN) sebagai sistem inspeksi otomatis untuk meningkatkan efektivitas dan keselamatan dalam pemeliharaan preventif drainase tertutup di lingkungan bandara.

E. Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang didapat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Manfaat Teknologi:

Dengan mengadopsi teknologi inovatif berupa *Internet of Things* (IoT) dan *Convolutional Neural Network* (CNN), dapat menciptakan Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) yang menjadi inovasi tepat guna dalam meningkatkan efisiensi inspeksi drainase tertutup di bandara.

2. Manfaat Keselamatan dan Keamanan:

Meningkatkan keselamatan kerja teknisi dengan mengurangi risiko pada saat inspeksi manual di drainase tertutup yang sulit dijangkau serta menyediakan solusi yang lebih cepat dan efisien untuk deteksi dini terhadap masalah di saluran drainase, seperti endapan lumpur atau kebocoran, yang dapat mempengaruhi kelancaran operasional bandara.

3. Manfaat Ekonomi:

Penggunaan komponen pilihan yang sesuai namun dengan harga tidak terlalu tinggi menjadi nilai lebih dari alat ini. Selain itu, penerapan Robot Pintar Inspeksi (RoKSi) berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Convolutional Neural Network* (CNN) di bandara dapat mengurangi biaya operasional dengan meningkatkan efisiensi inspeksi drainase, menghemat waktu dan tenaga kerja, serta mencegah kerusakan besar yang mengurangi biaya perbaikan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Keselamatan dan Pemeliharaan Infrastruktur Bandara

Keselamatan dan keamanan penerbangan (*safety and security aviation*) merupakan prioritas utama dalam dunia penerbangan. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan Alinea ke-3, menyatakan bahwa penerbangan merupakan bagian dari sistem transportasi nasional yang telah menjadi kebutuhan masyarakat luas dengan berbagai lapisan. Walaupun keselamatan penerbangan telah diatur sedemikian rupa, namun implementasinya masih banyak menimbulkan masalah, baik yang disebabkan manusia maupun kesalahan teknis (Safitri dkk., 2022). Menyadari hal tersebut, penyelenggaraan penerbangan harus ditata dalam satu kesatuan secara terpadu dan mampu memberikan jasa pelayanan yang aman dan terjamin keselamatannya (Sinaga, 2023). Hal tersebut membuat program keselamatan penerbangan nasional harus memuat peraturan keselamatan, sasaran keselamatan, dan pengawasan keselamatan serta beberapa hal penting lainnya, seperti yang dijelaskan pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan. Dalam konteks keselamatan tersebut, infrastruktur bandara memegang peran yang sangat penting. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2023 menegaskan bahwa keselamatan penerbangan harus didukung oleh infrastruktur yang layak, andal, dan terpelihara dengan baik, khususnya fasilitas sisi udara seperti *runway*, *taxiway*, *apron*, dan sistem drainase. Selain itu, *Safety Management System* (SMS) perlu diterapkan karena hal tersebut memiliki kontribusi yang positif dan signifikan terhadap tinggi rendahnya keselamatan. Berfungsinya semua unsur terkait antara satu dengan lainnya terhadap penyedia jasa penerbangan juga dapat meningkatkan keselamatan penerbangan sehingga untuk memastikan hal tersebut, diperlukannya kegiatan pemeliharaan fasilitas di bandara, termasuk fasilitas sisi udara yang dapat meningkatkan pendapatan serta keselamatan penerbangan di bandara (Handayani dkk., 2023). Selain itu,

berdasarkan studi terdahulu di Bandar Udara Juanda, menyatakan bahwa kondisi fasilitas sisi udara akan mempengaruhi kapasitas operasional bandara secara langsung (Santoso, 2014). Fasilitas yang tidak terpelihara dapat menurunkan efisiensi operasional serta menimbulkan risiko keselamatan bagi pengguna jasa penerbangan. Salah satu bagian penting dari fasilitas sisi udara yang mendukung keselamatan operasional bandara adalah sistem drainase. Drainase yang baik akan mencegah terjadinya genangan di *runway* maupun *taxiway*, yang berpotensi menyebabkan tergelincirnya pesawat atau kerusakan pada struktur perkerasan. Dalam kondisi cuaca ekstrem, sistem drainase yang buruk menjadi salah satu penyebab utama gangguan operasional bandara sehingga perencanaan dan pemeliharaan drainase harus menjadi bagian integral dari manajemen keselamatan bandara. Maka dari itu, pentingnya menjaga dan meningkatkan keselamatan penerbangan karena hal tersebut memiliki peran yang penting dan strategis dalam penyelenggaraan penerbangan (Ubaedillah, 2022).

2. Pemeliharaan Preventif pada Infrastruktur Drainase

Pemeliharaan preventif adalah tindakan yang mencegah suatu fasilitas dari kegagalan operasi, keausan dan agar berfungsi lebih lama. Pemeliharaan preventif merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan para teknisi untuk mempertahankan keadaan atau struktur suatu fasilitas di bandara agar tetap dalam kondisi layak pakai dan beroperasi dengan baik (Liu dkk., 2022). Pemeliharaan preventif mencakup kegiatan inspeksi yang sistematis, deteksi kesalahan, dan pencegahan kegagalan pengoperasian (Hardt dkk., 2021). Pemeliharaan preventif mengurangi insiden kerusakan atau kegagalan fungsi fasilitas atau peralatan sehingga dapat mengurangi biaya pengeluaran (Okafor & Ezeoyili, 2020). Bahkan, dibandingkan dengan pemeliharaan korektif yang dilakukan setelah terjadi kerusakan, pemeliharaan preventif menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi biaya jangka panjang, pengurangan waktu henti operasional, dan peningkatan keselamatan. Pemeliharaan korektif sering kali menyebabkan gangguan tak terduga yang dapat berdampak pada keseluruhan

sistem, sedangkan pendekatan preventif memungkinkan perencanaan yang lebih baik dan menghindari biaya besar akibat kerusakan mendadak.

Salah satu fasilitas yang mendapatkan pemeliharaan preventif adalah infrastruktur drainase yang menjadi bagian vital dalam pengaliran air hujan agar tidak mengganggu operasional *runway*, *taxiway*, *apron*, maupun area publik. Kerusakan atau kegagalan fungsi pada sistem drainase dapat menyebabkan genangan yang membahayakan keselamatan penerbangan serta kenyamanan penumpang. Studi terdahulu yang dilakukan Nusraningrum dkk. (2024), menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif yang efektif dapat secara signifikan mengurangi kerusakan alat berat dan gangguan operasional, seperti yang terlihat dalam kasus pompa sentrifugal di Bandara Soekarno-Hatta, dimana *Total Productive Maintenance* (TPM) ditekankan untuk meningkatkan keandalan. Bahkan penelitian yang dilakukan Candra (2020), menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif dapat mengurangi *downtime* dan meningkatkan kinerja operasional.

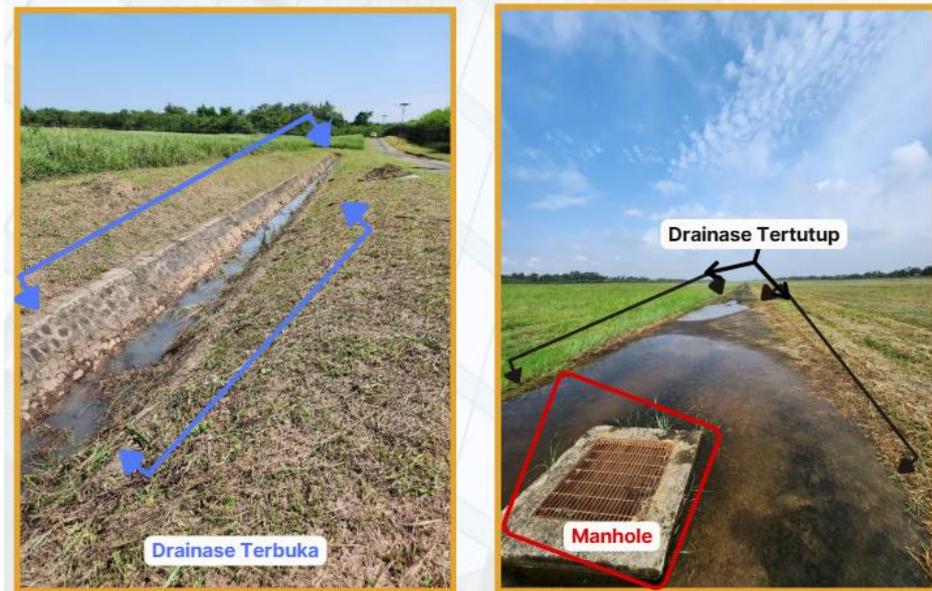
Berdasarkan pembahasan sebelumnya, pemeliharaan yang tepat menghasilkan penurunan biaya pengeluaran dan meningkatkan profitabilitas (Babashamsi dkk., 2022). Sedangkan perencanaan pemeliharaan yang tidak tepat akan menimbulkan manajemen yang tidak ekonomis (Babashamsi dkk., 2022). Maka dari itu, pemeliharaan preventif yang baik bukan hanya sekadar rutinitas teknis, tetapi merupakan bagian strategis dari pengelolaan infrastruktur bandara secara menyeluruh untuk mendukung operasional yang aman, andal, dan efisien.



Gambar II. 1 Inspeksi Saluran Air Tertutup di Bandara SMB II Palembang
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3. Tantangan Inspeksi Drainase Tertutup Bandara

Fasilitas drainase merupakan salah satu bagian dari fasilitas sisi udara yang cukup penting dalam memastikan keamanan area sisi udara ketika terjadi perubahan cuaca. Berdasarkan Peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Perhubungan Udara. Penerbangan No: SKEP/77/VI/2005 tentang Persyaratan Teknis, persyaratan teknis untuk pengoperasian fasilitas fasilitas teknik bandar udara, yang berbunyi: fasilitas drainase merupakan bagian fasilitas sisi udara yang menjamin keselamatan sisi udara ketika perubahan cuaca (Almahera dkk., 2020). Perhitungan drainase sisi udara mengacu pada kaidah-kaidah perhitungan drainase perhitungan drainase pada umumnya (Safriani dkk., 2022). Hal ini dikarenakan air di permukaan harus segera mengalir ke dalam saluran air agar tidak terjadi genangan (Pangesti dkk., 2022). Selain itu, berdasarkan Keputusan Direktur jendral Perhubungan udara Nomor PR 21 Tahun 2023 Tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, menyatakan bahwa dibutuhkannya perhatian khusus untuk pemeliharaan saluran air karena drainase yang buruk dapat mempengaruhi keretakan permukaan *runway* sehingga membahayakan pesawat terbang.



Gambar II. 2 Gambar Drainase Terbuka dan Drainase Tertutup Bandar Udara SMB II Palembang
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Drainase pada Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, terdiri dari 2 jenis drainase, yaitu drainase terbuka dan drainase tertutup. Drainase terbuka adalah sistem saluran air yang dirancang untuk mengalirkan air permukaan (seperti air hujan atau limpasan) secara terbuka melalui saluran yang tidak tertutup. Berdasarkan Airport Pavement Management System V.2 Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, luas *existing* drainase terbuka di bandara ini adalah 5.168,3 m. Sedangkan luas *existing* drainase tertutup adalah 1179 m. Meskipun secara kuantitatif lebih kecil, drainase tertutup memiliki peranan strategis dalam area-area yang memerlukan estetika, pengelolaan air yang efisien, serta perlindungan dari kontaminasi dan penyumbatan. Namun demikian, keberadaan saluran drainase tertutup menyimpan sejumlah tantangan dalam proses inspeksi dan pemeliharannya. Karakteristik fisik saluran tertutup yang sempit, gelap, minim sirkulasi udara, dan memiliki akses yang terbatas menjadi hambatan utama dalam melakukan inspeksi secara manual. Hal ini meningkatkan risiko keselamatan kerja bagi teknisi, seperti bahaya kekurangan oksigen, terpapar gas berbahaya, cedera akibat ruang gerak terbatas, dan kesulitan evakuasi darurat, serta bahaya yang mengintai di dalam saluran karena kita tidak tahu apa yang sedang menunggu di depan kita.

Bahkan di Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, terdapat drainase tertutup sejauh 437 m yang tidak terjangkau karena ukuran diameternya cukup kecil sehingga sulit bagi manusia untuk melakukan pemeliharaan di bagian tersebut. Hal ini cukup menjadi perhatian khusus karena mengingat drainase tertutup memiliki keunggulan berupa perlindungan dari kontaminasi eksternal dan risiko penyumbatan yang lebih rendah dibandingkan drainase terbuka. Selain itu, sistem drainase tertutup dapat digunakan sebagai alternatif pencegahan banjir dengan menggunakan penampang lingkaran dengan segi estetika yang terjaga karena drainase tertutup terletak dibawah tanah sehingga membuat tampilan area semakin indah (Makbul & Ruslan, 2020).

4. Perkembangan Teknologi dalam Inspeksi Infrastruktur

Perkembangan teknologi dalam bidang inspeksi infrastruktur sipil menunjukkan kemajuan yang signifikan, terutama dengan hadirnya teknologi robotik sebagai solusi atas berbagai keterbatasan metode inspeksi konvensional. Infrastruktur seperti saluran drainase tertutup, sering kali tidak dapat diakses dengan mudah oleh manusia karena keterbatasan fisik ruang, kondisi lingkungan yang berbahaya, serta risiko keselamatan yang tinggi. Oleh karena itu, penggunaan robot inspeksi menjadi semakin relevan untuk diterapkan dalam konteks pemeliharaan dan pengawasan infrastruktur penting.

Studi terdahulu oleh Lee dkk. (2023), menjelaskan bahwa robot otonom di darat maupun udara yang dilengkapi dengan sensor LIDAR, kamera visual, serta sistem navigasi pintar telah digunakan dalam inspeksi struktur seperti jembatan, menara, dan saluran drainase. Teknologi ini memungkinkan inspeksi dilakukan secara *real-time* tanpa perlu mengirimkan operator ke lokasi yang berisiko tinggi. Sementara itu, John & Shafeek (2022) melakukan tinjauan terhadap berbagai tipe robot inspeksi pipa seperti *crawler* berbasis roda, *track*, hingga robot bioinspiratif yang dapat melewati sambungan pipa yang kompleks dan berbelok-belok. Robot-robot ini juga dilengkapi dengan kamera dan sensor

non-destruktif (NDT) untuk mendeteksi kebocoran, deformasi, dan korosi dari dalam saluran.

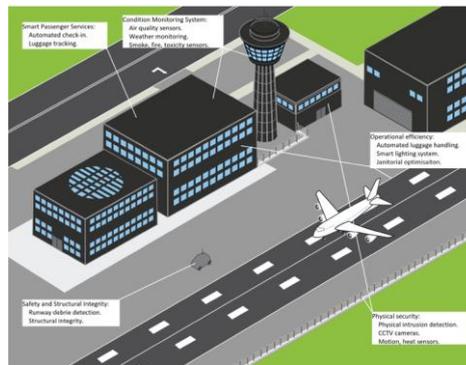
Teknologi robotik dalam inspeksi menawarkan sejumlah keunggulan, seperti kemampuan mengumpulkan data visual dan termal secara otomatis, membangun model 3D dari infrastruktur yang diperiksa, serta mengurangi keterlibatan manusia di lokasi berbahaya. Namun, tantangan yang dihadapi juga tidak sedikit. Salah satunya adalah kemampuan navigasi robot dalam ruang sempit dan berliku yang memerlukan kecerdasan buatan tinggi serta sistem kendali adaptif. Selain itu, konsumsi energi robot yang cukup besar, serta kebutuhan akan pelatihan operator masih menjadi kendala utama dalam implementasi luas teknologi ini (Lee dkk., 2023).

Contoh nyata penerapan teknologi ini dapat dilihat dalam studi yang dilakukan oleh Gunatilake dkk. (2019), yang merancang robot *crawler* dengan sistem kamera stereo. Robot ini mampu memetakan kondisi permukaan internal pipa secara 3D secara otomatis, sangat efektif untuk inspeksi dalam saluran tertutup yang gelap dan tidak berventilasi. Sementara itu, Islas-garcía dkk. (2021), mengembangkan robot berbasis gerakan laba-laba yang dapat bergerak fleksibel di dalam jaringan pipa sub-drainase di jalan raya. Robot ini terbukti efektif untuk menelusuri ruang terbatas dan mengirimkan citra visual dari dalam saluran secara langsung.

Secara keseluruhan, kemajuan teknologi robotik telah merevolusi cara inspeksi dilakukan pada infrastruktur sipil, terutama untuk area yang sebelumnya sulit atau bahkan berbahaya untuk diakses secara manual. Seiring perkembangan teknologi sensor, kecerdasan buatan, serta sistem navigasi otonom, robot inspeksi diprediksi akan menjadi standar baru dalam pengawasan dan pemeliharaan infrastruktur modern.

5. *Internet of Things (IoT)* dalam Sistem Pemantauan Infrastruktur

Keterlibatan teknologi, terutama *Internet of Things (IoT)* dan robotika, telah membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi layanan di bandara. Di Indonesia sendiri penerapan sistem tersebut dapat membuka peluang besar untuk meningkatkan efisiensi operasional, produktivitas, dan nilai tambah dalam sektor industri penerbangan (Putra dkk., 2022). Hal tersebut dapat tercapai karena fungsi utama dari IoT yang mencakup pengumpulan data *real-time* dari sensor-sensor terdistribusi, transmisi informasi ke pusat kendali berbasis *cloud* atau *edge computing*, serta analisis kondisi struktur seperti getaran, suhu, ataupun deformasi. Melalui sistem ini, pemantauan infrastruktur yang sebelumnya memerlukan inspeksi manual dapat diotomatisasi, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keselamatan operasional.



Gambar II. 3 Pemanfaatan IoT pada *Smart Airport*

Sumber: Cyber Security Research Center Ltd.

Penerapan IoT dalam pemantauan infrastruktur telah mendapatkan perhatian dalam berbagai studi ilmiah. Penelitian terdahulu oleh Abruzzese dkk. (2020), mendemonstrasikan platform IoT yang mampu mengintegrasikan data sensor seperti akselerometer, *strain-gauge*, dan suhu dengan model teknik untuk mendukung interoperabilitas dan pemantauan struktur sipil secara *real-time*. Selain itu, studi Martín dkk. (2022), memperlihatkan penggunaan pemantauan infrastruktur sipil secara *real-time*. Sistem ini secara efisien memproses data sensor di *edge* (dekat lokasi) sebelum meneruskannya ke *cloud*, sehingga menurunkan *latency* dan beban jaringan. Sejatinya, potensi IoT untuk sistem pemeliharaan sangat luas. Kajian terdahulu oleh Ye dkk. (2024) menunjukkan bahwa sensor-sensor yang dipasang pada jalan dapat dikelola secara mandiri

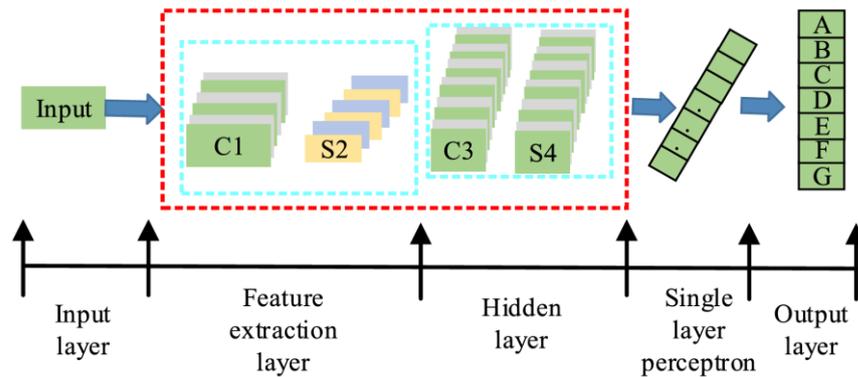
melalui sistem *self-powered*, kemudian data dikirim ke *cloud* untuk analisis kondisi pondasi dan permukaan jalan secara menyeluruh. Potensi lainnya terlihat dalam sistem pemantauan defleksi jembatan dalam penelitian oleh studi oleh D. Zhao dkk. (2025), memperkenalkan sensor laser ganda untuk pemetaan defleksi horizontal dan vertikal, memungkinkan deteksi perubahan struktural secara komprehensif. Namun, terdapat tantangan yang dihadapi termasuk masalah kelistrikan (daya rendah) maupun integrasi sensor.

Lebih jauh lagi, integrasi IoT dengan sistem robotik memberi dimensi baru dalam pemantauan infrastruktur. Robot inspeksi yang berjalan di atas atau di dalam struktur dapat dilengkapi dengan modul IoT dan kamera yang berfungsi secara otomatis mengumpulkan data dan mengirimkannya secara *real-time*. Integrasi tersebut memungkinkan pemantauan kondisi secara simultan dan responsif tanpa intervensi manusia langsung, yang sangat strategis untuk fasilitas seperti saluran tertutup, terowongan, dan struktur kritikal lainnya. Tidak hanya itu, suatu pekerjaan akan lebih mudah untuk dilaksanakan apabila terhubung dengan sistem IoT (Tu, 2023). Bahkan, Sundaram & Zeid (2023) telah memanfaatkan teknologi ini untuk membantu pekerjaan *quality inspection process* secara *real-time*. Maka dari itu, penerapan IoT di bandara demi menunjang pemeliharaan, merupakan suatu inovasi yang cukup unggul.

6. Convolutional Neural Network (CNN) untuk Deteksi Visual

Saat ini model *deep learning*, termasuk *Convolutional Neural Network* (CNN), telah dikembangkan sebagai respons terhadap variasi penggunaan *Internet of Things* (Y. C. Wang dkk., 2023). *Convolutional Neural Networks* (CNN) sendiri adalah *data-driven* yang terinspirasi oleh cara *visual cortex of animals* dalam memproses gambar (Sarvamangala & Kulkarni, 2022). Sejatinnya, CNN dirancang khusus untuk tugas *computer vision*, seperti klasifikasi, deteksi obyek, dan segmentasi citra. CNN beroperasi melalui serangkaian *layer* konvolusi yang mengekstrak fitur spasial dari data gambar, diikuti oleh *pooling* untuk mengurangi dimensi, serta lapisan *fully-connected* sebagai *classifier* akhir. Struktur ini memungkinkan *parameter-sharing* dan *local connectivity*, sehingga CNN cukup efisien dalam mengidentifikasi pola visual dan struktur

objek pada gambar sehingga dapat melakukan deteksi anomali dan cacat struktural .



Gambar II. 4 Struktur *Convolutional Neural Network*
Sumber: Tian (2020)

CNN telah banyak digunakan dalam berbagai tugas *deep learning* karena *parameter-sharing*, *local awareness*, dan kemampuan fitur ekstraksi kuat yang dimiliki (Gu dkk., 2018). Kemampuan CNN untuk secara akurat menangkap suatu benda dalam gambar untuk ekstraksi detail dan klasifikasi target yang canggih, menjadikan CNN paling efektif dalam tugas *image processing* (Binbusayyis, 2024). Berbagai studi telah membuktikan efektivitas CNN dalam mendeteksi kerusakan infrastruktur secara otomatis. Studi terdahulu oleh Bai dkk. (2023), menggunakan CNN untuk mendeteksi retakan halus pada jembatan beton dengan akurasi tinggi meskipun *dataset* terbatas. Pentingnya penggunaan CNN tidak hanya terbatas pada pengolahan gambar atau deteksi objek dalam bidang teknologi dan komputer, tetapi juga memiliki potensi besar dalam pemeliharaan infrastruktur, khususnya untuk sistem drainase. Dalam konteks pemeliharaan drainase, CNN dapat digunakan untuk menganalisis gambar atau video dari sistem drainase untuk mendeteksi kerusakan atau sumbatan yang mungkin terjadi, seperti yang dilakukan Tang dkk. (2024) dalam penelitian mengenai pemanfaatan CNN pada pendeteksian kerusakan di saluran pembuangan. Tidak hanya itu, penelitian yang dilakukan oleh Rayhana dkk. (2021), menunjukkan penerapan CNN yang berhasil mengidentifikasi berbagai jenis kerusakan seperti retakan, sedimentasi, dan kebocoran pada video CCTV saluran, dengan akurasi melebihi 80 % dan kemampuan pemrosesan *real-time*. Dengan kemampuannya untuk mengenali dan

mengekstraksi detail dari gambar secara akurat, CNN dapat membantu dalam identifikasi masalah secara lebih cepat dan efisien daripada metode manual tradisional. CNN dapat mendeteksi potensi kerusakan pada struktur drainase yang sulit dijangkau oleh manusia, sehingga meningkatkan efektivitas pemeliharaan dan pengelolaan infrastruktur secara keseluruhan. Hal ini dapat mengurangi biaya pemeliharaan dan memperpanjang umur operasional infrastruktur drainase, serta mencegah terjadinya kerusakan dini yang bisa menyebabkan banjir atau masalah lain yang merugikan.

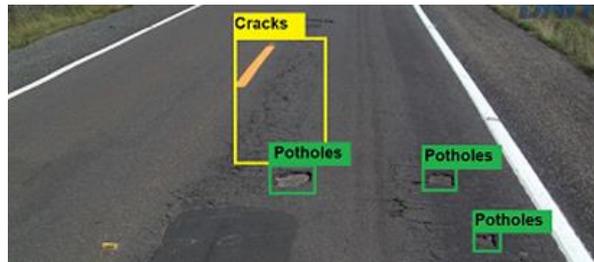
7. YOLOv11

You Only Look Once (YOLO) merupakan model *deep learning* yang diusulkan oleh Joseph Redmond pada tahun 2015. YOLO adalah sistem pendeteksi objek yang dapat digunakan secara luas dalam aplikasi *real time* karena kemampuannya untuk mendeteksi beberapa kelas objek dengan menggunakan satu jaringan syaraf tiruan (Chavan dkk., 2022; Redmon dkk., 2016). Algoritma YOLO menerapkan jaringan saraf pada sebuah gambar dan membagi gambar tersebut menjadi sejumlah *grid*, kemudian memprediksi *bounding box* dan probabilitas untuk setiap *grid*. Untuk mendapatkan *bounding box*, gambar input melewati proses konvolusi (Rachmawati & Widhyaestoeti, 2020), menghasilkan ukuran *bounding box* sebesar $S \times S \times (B*5+C)$, dimana B adalah jumlah *bounding box* dalam satu *grid*, dan C adalah jumlah kelas yang dapat dideteksi. B dikalikan dengan 5 karena setiap *bounding box* memerlukan 5 nilai yang disimpan, yaitu Koordinat X, Koordinat Y, *Width* (lebar), *Height* (tinggi), dan *Confidence Score* (nilai probabilitas *bounding box* yang mendeteksi sebuah objek). Semua atribut *bounding box* mengalami normalisasi, sehingga nilainya berada di antara 0 dan 1. Koordinat x dan y dinormalisasi berdasarkan titik kiri atas dari *grid* yang bersangkutan, sedangkan lebar dan tinggi dinormalisasi berdasarkan ukuran gambar.

Metode algoritma YOLO dapat digunakan untuk mendeteksi dan menemukan lubang atau kerusakan di suatu gambar yang ditangkap oleh kamera. Hal ini menjadi solusi inovatif yang dapat meningkatkan keamanan dan aksesibilitas

setiap individu (Vijayakumara dkk., 2024). Selain itu, metode ini lebih unggul dari metode tradisional seperti *edge detection* dan *template matching* karena tidak efektif dalam mendeteksi lubang karena bentuk dan ukurannya yang tidak beraturan (Camilleri & Gatt, 2020). YOLO digunakan dalam penelitian ini karena memiliki kelebihan sebagai berikut:

- a. Dapat melakukan pengenalan objek secara *real-time*.
- b. Tergolong cepat karena arsitektur *frame detection* yang menggunakan model regresi dan tidak dibutuhkan *pipeline* yang kompleks.
- c. Mempertimbangkan unsur global dari gambar yang diprediksi, secara implisit bisa mengodekan informasi kontekstual dari gambar.
- d. Mempelajari representasi objek yang dapat digeneralisasikan. Oleh karena itu, mudah diterapkan pada input gambar baru.



Gambar II. 1 Contoh Kerusakan yang Terdeteksi Algoritma
Sumber: IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)

Sementara itu, kelemahan YOLO adalah walaupun bisa cepat mengidentifikasi objek pada gambar, YOLO juga harus berupaya keras untuk melokalisasi beberapa objek secara tepat, terutama objek berukuran kecil (Fauzan Arif dkk., 2023). Walaupun seperti itu, Algoritma YOLO telah digunakan oleh banyak penulis dalam literatur untuk tugas pendeteksian suatu lubang (Chavan dkk., 2022; Hiremath dkk., 2021; Islam & Sadi, 2018). Selain itu, YOLO dimanfaatkan sebagai sistem deteksi lubang untuk membantu para tunanetra (Islam & Sadi, 2018). Mereka mengembangkan sistem menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *dataset* deteksi jalan dan lubang. Tidak hanya itu, Hiremath dkk. (2021) mengembangkan aplikasi pintar untuk mendeteksi jalan berlubang menggunakan YOLO dengan mengimplementasikan model pendeteksian jalan berlubang ini dalam hal aplikasi *mobile* akan bersifat portabel. Tidak hanya pendeteksian jalan

berlubang, teknologi ini dapat mendeteksi kerusakan di tempat lainnya, seperti *runway* maupun saluran air. Dalam konteks otomatisasi inspeksi infrastruktur seperti deteksi keretakan saluran air di bandara, YOLOv11 yang dapat mendeteksi objek dengan presisi tinggi dan kestabilan akurasi, layak digunakan dalam aplikasi *real-time*. Dengan akurasi tinggi dan kecepatan *real-time*, sistem ini mampu mengenali kerusakan kecil yang mungkin terlewat oleh mata manusia atau model versi lama. Mengingat YOLOv11 belum diimplementasikan di Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, maka akan menjadi ide cemerlang untuk mengimplementasikan inovasi berbasis YOLOv11 demi meningkatkan keamanan dan kenyamanan penerbangan.

B. Hasil Penelitian Yang Relevan

Pada penelitian ini, penulis telah menelaah penelitian sebelumnya yang telah dikaji oleh peneliti terdahulu. Hal tersebut dibutuhkan sebagai bahan pertimbangan pembuatan tugas akhir.

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu
Sumber: Jurnal

No	Penelitian, Tahun, Judul	Hasil penelitian	Perbedaan	Persamaan
1.	(Knedlová dkk., 2017) <i>Design and Construction of an Inspection Robot for the Sewage Pipes</i>	Penelitian ini menyajikan desain dan konstruksi robot inspeksi untuk saluran pembuangan berdiameter lebih dari 200 mm. Robot ini dilengkapi dengan kamera inspeksi dan kontrol jarak jauh melalui kabel.	Penelitian ini masih mengandalkan kontrol manual yang tentu saja tidak efisien pada saat pengoperasiannya. Sedangkan RoKSi sudah menggunakan sistem otonom	Penelitian ini membahas robot inspeksi yang dilengkapi kamera dan dirancang untuk inspeksi ruang terbatas.

				dan terintegrasi IoT dan CNN.		
2.	(Muthugala dkk., 2021), <i>Raptor: A Design of a Drain Inspection Robot</i>	Penelitian ini mengusulkan alat dengan nama Raptor. Alat ini menawarkan solusi yang efisien dan aman untuk inspeksi drainase. Desain dan pengontrolnya memungkinkan operasi yang efektif di lingkungan yang sulit. Penelitian lanjutan akan mencakup pengujian di drainase dengan aliran air serta koordinasi multirobot untuk meningkatkan produktivitas inspeksi.	ini	Penelitian ini masih mengutamakan kontrol manual, sedangkan RoKSi sudah menggunakan sistem otonom.	Penelitian ini	dirancang untuk inspeksi drainase.
3.	(Melvin dkk., 2021) <i>Remote Drain Inspection Framework Using The Convolution</i>	Penelitian ini membahas Raptor yang dikonfigurasi untuk inspeksi drainase jarak jauh. Robot ini menggunakan	ini	Robot pada penelitian ini merupakan <i>reconfigurable robot</i> sehingga biaya yang digunakan tentu saja lebih	Penelitian ini	merancang robot otonom dan menggunakan CNN untuk analisis visual dan deteksi

al Neural Network And Re-Configurable Robot Raptor untuk deteksi objek untuk mendeteksi hambatan seperti sampah. banyak untuk mendeteksi hambatan seperti sampah. RoKSi memiliki desain tetap yang lebih fokus pada drainase kecil di bandara sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi lebih minim.

4.	<i>(J. Zhao dkk., 2017) A Search-and-Rescue Robot System for Remotely Sensing the Underground Coal Mine Environment</i>	Penelitian ini membahas pengembangan sebuah sistem robot pencarian untuk lingkungan tambang batu bara bawah tanah dengan tujuan utama dari pengembangan sistem ini adalah untuk meningkatkan keselamatan pekerja.	RoKSI memiliki fokus pada inspeksi drainase di lingkungan bandara, sementara penelitian ini berfokus pada daerah tambang batu bara.	Penelitian ini membahas robot inspeksi yang dilengkapi kamera dengan pengendalian jarak jauh.
----	---	---	---	---

5.	<i>(Ecker et al., 2020), Conceptualising Inspection Robot for Tunnel</i>	Penelitian ini membahas pengembangan robot yang dirancang untuk menavigasi dan menginspeksi sistem drainase terowongan,	Penelitian ini merancang robot inspeksi drainase untuk pipa dengan diameter lebih besar,	Penelitian ini membahas robot otonom untuk inspeksi drainase.
----	--	---	--	---

<i>Drainage Pipes</i>	khususnya yang rentan terhadap pengendapan kalsium karbonat.	sementara RoKSi lebih fokus pada drainase tertutup berukuran kecil di bandara.
7. <i>(Parween et al., 2021), Collision Avoidance and Stability Study of a Self-Reconfigurable Drainage Robot</i>	Penelitian ini menjelaskan robot drainase yang dapat dikonfigurasi sendiri sehingga mampu melakukan <i>monitoring</i> drainase secara mandiri.	Robot ini menggunakan sistem logika fuzzy untuk stabilitas, sedangkan RoKSi menggunakan CNN untuk analisis visual dan IoT untuk transmisi data <i>real-time</i> .
8. <i>(Hofer et al., 2023), A Robotic Tunnel Drainage Inspection Rover</i>	Penelitian ini membahas pengembangan robot untuk inspeksi sistem drainase terowongan yang fokus pada deteksi pengendapan skala karbonat.	Lebih cocok untuk saluran diameter besar karena biaya cukup besar, sementara RoKSi dirancang untuk saluran drainase kecil di bandara dengan biaya terjangkau.