

**PENGEMBANGAN ALAT MONITORING GENANGAN AIR
PADA *RUNWAY* GUNA Mendukung *PREVENTIVE
MAINTENANCE* DI BANDAR UDARA**

TUGAS AKHIR

Oleh:

REHAN ZIKRI AVIAN

NIT. 56192110023



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR
UDARA PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG
JULI 2025**

**PENGEMBANGAN ALAT MONITORING GENANGAN AIR
PADA *RUNWAY* GUNA MENDUKUNG *PREVENTIVE
MAINTENANCE* DI BANDAR UDARA**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan
Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara
Program Sarjana Terapan

Oleh:

REHAN ZIKRI AVIAN

NIT. 56192110023



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR
UDARA PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG
JULI 2025**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT MONITORING GENANGAN AIR PADA RUNWAY GUNA MENDUKUNG *PREVENTIVE MAINTENANCE* DI BANDAR UDARA

Oleh

REHAN ZIKRI AVIAN

NIT: 56192110023

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Program Studi Sarjana Terapan

Runway di bandar udara memiliki peranan vital dalam mendukung kelancaran dan keselamatan operasional penerbangan. Salah satu ancaman keselamatan penerbangan yang signifikan adalah keberadaan genangan air pada permukaan runway yang dapat menyebabkan risiko hydroplaning, yaitu kondisi di mana pesawat kehilangan daya cengkeram akibat terbentuknya lapisan air di antara ban pesawat dan permukaan runway. Risiko ini dapat mengganggu proses lepas landas maupun pendaratan pesawat dan meningkatkan potensi kecelakaan. Berdasarkan kondisi di Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, pengamatan terhadap genangan air di *runway* hingga saat ini masih dilakukan secara manual oleh petugas dari *Airport Air Side Facilities Department (AASFD)*. Metode manual tersebut bergantung pada observasi visual dan pengukuran sederhana menggunakan alat seperti penggaris, yang dinilai tidak efisien dan memiliki tingkat keakuratan rendah karena rentan terhadap kesalahan manusia serta keterbatasan dalam cakupan area dan waktu pemantauan. Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah alat monitoring genangan air pada runway yang bersifat otomatis dan cerdas, dengan mengintegrasikan teknologi *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligence (AI)*, dan sensor ultrasonik guna mendukung program preventive maintenance di bandar udara. Alat ini dirancang untuk mendeteksi dan memantau genangan air secara real-time sehingga tindakan preventif dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat sasaran. Rancangan alat monitoring terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu sensor ultrasonik JSN-SR04T yang tahan air untuk pengukuran ketinggian air, modul GPS untuk menentukan lokasi akurat, kamera sebagai pendeteksi visual tambahan, serta mikrokontroler Arduino dan Raspberry Pi yang berfungsi sebagai otak sistem. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan dashboard website sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data hasil pengukuran secara real-time kepada petugas bandara. Untuk meningkatkan kemampuan deteksi visual terhadap genangan air, sistem ini dilengkapi dengan model kecerdasan buatan menggunakan

arsitektur U-Net yang diterapkan untuk segmentasi citra. Model AI ini dilatih menggunakan dataset citra genangan air, dan mampu mengenali pola genangan berdasarkan karakteristik visual pada gambar yang diambil oleh kamera. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model AI mencapai akurasi pelatihan sebesar 90% dan akurasi validasi berkisar antara 78% hingga 83%, membuktikan keandalannya dalam mengenali genangan air. Selain itu, pengujian sensor ultrasonik pada berbagai ketinggian air menunjukkan bahwa akurasi pengukuran meningkat seiring bertambahnya ketinggian air, di mana Sensor 3 menunjukkan hasil paling stabil dengan tingkat akurasi mencapai 100% pada rentang 2–3 cm. Modul GPS menunjukkan kinerja sangat baik dengan rata-rata error kurang dari 0,0015%, yang memungkinkan pemetaan lokasi genangan air secara akurat pada area runway. Pengujian kamera menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi genangan air bening hingga jarak 1,5 meter dan genangan air berpasir hingga 2 meter, sehingga efektif digunakan dalam berbagai kondisi permukaan runway. Dari segi sumber daya, uji ketahanan baterai menunjukkan bahwa alat dapat beroperasi secara stabil selama 30 menit dalam mode pengukuran dan transmisi data aktif. Terakhir, pengujian kepuasan pengguna yang melibatkan para profesional dari industri penerbangan serta akademisi menyatakan bahwa sistem ini sangat memuaskan, dengan nilai tinggi pada aspek kegunaan (*usability*), efektivitas, dan efisiensi. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa prototipe alat monitoring ini layak untuk diimplementasikan dalam sistem manajemen *preventive maintenance runway* dan mampu meningkatkan keselamatan penerbangan secara signifikan. Di masa depan, sistem ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut, seperti penambahan fitur sistem peringatan dini otomatis, peningkatan akurasi algoritma pemrosesan citra, dan pengujian skala besar untuk penerapan di berbagai bandara di Indonesia. Dengan demikian, inovasi ini menjadi kontribusi nyata dalam transformasi digital pengelolaan infrastruktur penerbangan nasional.

Kata Kunci: Genangan Air, IoT, Kamera, *Preventive Maintenance*, *Runway*, Sensor Ultrasonik

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF RUNWAY STANDING WATER MONITORING TO SUPPORT AIRPORT PREVENTIVE MAINTENANCE

By

REHAN ZIKRI AVIAN

NIT: 56192110023

***Airport Engineering Technology Study Program
Applied Bachelor's Program***

The runway at an airport plays a vital role in ensuring the smooth operation and safety of flight activities. One of the most significant safety threats in this context is the presence of standing water on the runway surface, which can lead to hydroplaning—a condition where the aircraft loses traction due to a layer of water forming between the tires and the runway surface. This situation can severely disrupt takeoff and landing procedures and increase the risk of accidents. At Sultan Mahmud Badaruddin II International Airport in Palembang, water puddle observation on the runway is still conducted manually by personnel from the Airport Air Side Facilities Department (AASFD). This manual method relies heavily on visual inspection and simple measurement tools, such as rulers, which are considered inefficient and prone to human error due to limited area coverage and inconsistent accuracy. To address these issues, this study aims to develop a smart, automated water puddle monitoring system for airport runways by integrating Internet of Things (IoT) technology, Artificial Intelligence (AI), and ultrasonic sensors to support preventive maintenance programs. The monitoring tool is designed to detect and monitor water accumulation in real-time, allowing for more timely and targeted preventive action. The monitoring system consists of several key components, including a waterproof ultrasonic sensor (JSN-SR04T) for measuring water height, a GPS module for accurate location acquisition, a camera for visual detection, and microcontrollers (Arduino and Raspberry Pi) to control system operations. Additionally, a web-based dashboard interface is developed to display real-time data collected by the device for airport personnel both on-site and at the control center. To enhance the visual detection capability, the system is equipped with an AI model using the U-Net architecture for image segmentation, which allows the recognition of water puddle patterns based on images captured by the camera. The AI model was trained using a dataset of water puddle images and demonstrated a training accuracy of 90%, with validation accuracy ranging from 78% to 83%, indicating reliable performance in recognizing puddles under various visual conditions. Testing of the ultrasonic sensors showed increasing accuracy with higher water levels, with Sensor 3 delivering the most consistent results,

achieving 100% accuracy at water heights between 2 and 3 cm. The GPS module also performed with high precision, registering an average error below 0.0015%, enabling accurate mapping of puddle locations across the runway. Camera tests revealed the system could detect clear water puddles up to a distance of 1.5 meters and sandy water puddles up to 2 meters, proving its effectiveness in various surface conditions. In terms of power performance, battery endurance tests showed that the device could operate stably for 30 minutes in active monitoring and data transmission mode. Furthermore, user satisfaction testing, involving aviation industry professionals and academics, indicated a high level of satisfaction, with the system receiving excellent scores in usability, effectiveness, and efficiency categories. Overall, the testing results demonstrate that this prototype monitoring system is feasible for implementation as part of a preventive maintenance strategy for airport runways and has the potential to significantly enhance flight safety. Future developments may include integrating an automated early warning system, improving image processing algorithms, and conducting large-scale trials for nationwide implementation. This innovation contributes not only to the effectiveness and efficiency of runway maintenance but also to the broader digital transformation of airport infrastructure management in Indonesia.

Keyword: *Standing Water, IoT, Camera, Preventive Maintenance, Runway, Ultrasonic Sensor*

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir: "PENGEMBANGAN ALAT MONITORING GENANGAN AIR PADA *RUNWAY* GUNA Mendukung *PREVENTIVE MAINTENANCE* DI BANDAR UDARA" 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 : REHAN ZIKRI AVIAN

NIT : 56192110023

PEMBIMBING I

Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS.ASM.
Penata Tk.1 (III/d)
NIP. 19831213 201012 2 003

PEMBIMBING II

YAYUK SUPRIHARTINI, S.Si.T., M.A.
Penata Tk.1 (III/d)
NIP. 19830725 200812 2 001

KETUA PROGRAM STUDI

Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si.
Pembina (IV/a)
NIP. 19810306 200212 1 001

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir : ”PENGEMBANGAN ALAT MONITORING GENANGAN AIR PADA *RUNWAY* GUNA Mendukung *PREVENTIVE MAINTENANCE* DI BANDAR UDARA” 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.Si.
Pembina Tk.1 (IV/b)
NIP. 19700203 199503 1 001

SEKRETARIS



Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS.ASM.
Penata Tk.1 (III/d)
NIP. 19831213 201012 2 003

ANGGOTA



MINULYA ESKA NUGRAHA, M.Pd.
Penata Muda Tk.1 (III/b)
19880308 202012 1 006

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rehan Zikri Avian

NIT : 56192110023

Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul “Pengembangan Alat Monitoring Genangan Air Pada *Runway* Guna Mendukung *Preventive Maintenance* di Bandar Udara” 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,



Rehan Zikri Avian

NIT. 56192110023

LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir program sarjana terapan 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 :

Avian, Rehan Zikri. (2025): PENGEMBANGAN ALAT MONITORING
GENANGAN AIR PADA *RUNWAY* GUNA Mendukung
PREVENTIVE MAINTENANCE DI BANDAR UDARA,
Tugas Akhir Program Diploma IV, Politeknik Penerbangan Palembang.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh TA haruslah seizin Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Palembang.

*Dipersembahkan kepada Ayahanda Handaru Wingarto, Ibunda Reti Susanti, dan
Adinda Reda Cahya Pradipta*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya yang telah memberikan kemudahan bagi penulis dalam penyusunan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini berjudul "PENGEMBANGAN ALAT MONITORING GENANGAN AIR PADA *RUNWAY* GUNA Mendukung *PREVENTIVE MAINTENANCE* DI BANDAR UDARA "

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 Ibu Yayuk Suprihartini, S.Si.T., M..A. 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 saya dan juga 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. Bapak Barkah Susianto, S.T, Bapak Aditya Febriansyah S.T, Bapak Aditya Darmawan A.Md., Bapak Pandu Riezky S.T. , Ibu Rahmi Fitritara S.T., selaku team of *Airport Airside Facilities Department* Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.

5. Kedua Orang Tua saya, bapak Handaru Wingarto dan Ibu Reti Susanti serta adik saya Reda Cahya Pradipta yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
6. Teman-teman terdekat penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya dalam menyelesaikan laporan ini.
7. Teman-teman seperjuangan penulis TRBU Angkatan 02, teman-teman saya MBU 02 Alpha dan Bravo, serta PPKP 02.
8. Terima kasih kepada Firani Azzahra yang telah memberikan semangat yang tak pernah putus darinya. Terima kasih telah setia menemani dalam setiap langkah penting perjalanan akademik ini, mulai dari sidang OJT, sidang proposal hingga akhirnya pada sidang Tugas Akhir ini.

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, 15 Juli 2025

Penulis,



Rehan Zikri Avian
NIT. 56192110023

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
LAMPIRAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	vii
PENGESAHAN PENGUJI	viii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ix
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR.....	x
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	6
C. Batasan Masalah	6
D. Tujuan	6
E. Manfaat	6
F. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Deskripsi Teori.....	9
1. Bandar Udara	9
2. <i>Runway</i>	9
3. <i>Preventive Maintenance</i>	9
4. Inspeksi <i>Airside</i>	10
5. <i>Standing Water</i>	11
6. <i>Hydroplaning</i>	12
7. Sistem Monitoring.....	13
8. Sensor Ultrasonik JSN-SR04T.....	13
9. <i>Artificial Intelligence</i>	14
10. <i>Deep Learning</i>	15

11.	U-Net.....	15
12.	<i>Internet of Things (IoT)</i>	16
13.	<i>Microcontroller Raspberry Pi</i>	17
14.	Arduino	18
15.	<i>Web-Camera</i>	19
16.	<i>Global Positioning System</i>	20
17.	Baterai	20
18.	<i>Website</i>	21
19.	Pycharm.....	21
20.	<i>Hyper Text Markup Language</i>	22
21.	<i>Cascading Style Sheet</i>	22
22.	<i>JavaScript</i>	23
23.	<i>SQLite</i>	23
24.	Flask	24
25.	Python	24
26.	Bahasa C++	25
B.	Judul Relevan.....	26
C.	Kerangka Berpikir	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		34
A.	Pendekatan dan Jenis Penelitian	34
1.	Potensi dan Masalah.....	35
2.	Pengumpulan data atau informasi	35
3.	Desain Produk	37
4.	Validasi Desain.....	37
5.	Revisi Desain	37
6.	Pembuatan Alat	37
7.	Uji Coba Produk.....	38
B.	Teknik Analisis Data	38
C.	Jadwal Pelaksanaan	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
A.	Hasil.....	42
1.	Potensi dan Masalah.....	42
2.	Pengumpulan Data	42
3.	Desain Produk	46

4. Validasi Desain.....	60
5. Revisi Desain	62
6. Pembuatan Alat	63
7. Uji Coba Produk.....	70
B. Pembahasan	82
BAB V KESIMPULAN & SARAN.....	84
A. Kesimpulan.....	84
B. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Genangan Air di Runway 11	92
Lampiran B Lembar Validasi Instrumen Observasi	93
Lampiran C Lembar Validasi Instrumen Pertanyaan Wawancara.....	94
Lampiran D Pedoman Observasi	95
Lampiran E Hasil Observasi	96
Lampiran F Lembar Hasil Wawancara.....	98
Lampiran G Dokumentasi Focus Group Discussion.....	99
Lampiran H Coding Validasi Dataset.....	100
Lampiran I Coding Sensor dan Website.....	101
Lampiran J Dokumentasi Uji Coba.....	103
Lampiran K Lembar Hasil Uji Coba Pemakaian Alat.....	106
Lampiran L Dokumentasi Penyebaran Angket Uji Coba Pemakaian Alat.....	111
Lampiran M Manual Book Sistem Monitoring Genangan Air	113
Lampiran N Hasil Cek Turnitin	114
Lampiran O Lembar Bimbingan	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Inspeksi sisi udara bandar udara	11
Gambar II. 2 Ilustrasi tipe <i>hydrolanning</i>	13
Gambar II. 3 Sensor ultrasonik	14
Gambar II. 4 Internet of things.....	17
Gambar II. 5 Raspberry pi.....	18
Gambar II. 6 Arduino	19
Gambar II. 7 <i>Web-cam</i>	19
Gambar II. 8 Ilustrasi satelit gps	20
Gambar II. 9 Baterai li-po	21
Gambar II. 10 Python.....	25
Gambar II. 11 Kerangka berpikir	33
Gambar III. 1 Metode penelitian R&D	34
Gambar IV. 1 Inspeksi setelah hujan.....	43
Gambar IV. 2 Wawancara bersama supervisor AASFD.....	45
Gambar IV. 3 Diagram blok rancangan.....	47
Gambar IV. 4 Wiring diagram	48
Gambar IV. 5 Desain alat	49
Gambar IV. 6 Arsitektur <i>website</i>	51
Gambar IV. 7 Kegiatan FGD.....	60
Gambar IV. 8 Desain alat setelah revisi	63
Gambar IV. 9 Kumpulan dataset	64
Gambar IV. 10 Pembuatan desain alat	65
Gambar IV. 11 Pembuatan <i>coding</i> program	66
Gambar IV. 12 Tampilan <i>website</i>	66
Gambar IV. 13 Pemasangan komponen	67
Gambar IV. 14 Flowchart pengoperasian.....	68
Gambar IV. 15 Hasil validasi dataset	70
Gambar IV. 16 Grafik hasil pembacaan sensor	73

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Daftar penelitian yang relevan.....	26
Tabel III. 1 Kriteria Kelayakan Produk.....	38
Tabel III. 2 Intrumen hasil pemakaian alat.....	39
Tabel III. 3 Kriteria Kesimpulan Produk.....	40
Tabel III. 4 Jadwal Penelitian.....	41
Tabel IV. 1 Tabel keterangan komponen.....	48
Tabel IV. 2 Estimasi konsumsi daya tiap komponen.....	52
Tabel IV. 3 Spesifikasi alat.....	54
Tabel IV. 4 Anggota FGD.....	60
Tabel IV. 5 Revisi desain.....	62
Tabel IV. 6 Hasil pembacaan sensor ultrasonik.....	72
Tabel IV. 7 Pengujian GPS belakang Gedung TRBU.....	73
Tabel IV. 8 Pengujian GPS di <i>runway</i> depan gedung utama.....	74
Tabel IV. 9 Pengujian GPS di kantor AASFD.....	75
Tabel IV. 10 Uji genangan air bening.....	76
Tabel IV. 11 Uji genangan air berpasir.....	77
Tabel IV. 12 Uji ketahanan baterai.....	78
Tabel IV. 13 Hasil uji kepuasan pengguna.....	80

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Penggunaan Pertama Kali di Halaman
ICAO	<i>International Civil Aviation Organziation</i>	1
AASFD	<i>Airport Air Siide Facilities Department</i>	3
ATC	<i>Air Traffic Controller</i>	3
IOT	<i>Internet of Things</i>	4
AI	<i>Artificial Intelligence</i>	13
PWM	<i>Pulse Widht Modulation</i>	17
Webcam	<i>Web Camera</i>	18
GPS	<i>Global Positioning System</i>	19
Li-po	<i>Lithium polymere</i>	19
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>	20
PHP	<i>Hypertext Preporcessor</i>	20
CSS	<i>Cascading Style Sheet</i>	21
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>	25
OJT	<i>On the Job Training</i>	30
RWYCC	<i>Runway Condition Code</i>	32
RCR	<i>Runway Condition Report</i>	32
ARO	<i>Airport Reporting Officer</i>	32
R&D	<i>Research & Development</i>	33
FGD	<i>Focus Group Discussion</i>	36

RCA	<i>Runway Condition Assessment</i>	40
ATIS	<i>Air Traffic Information Services</i>	40
CDN	<i>Content Delivery Network</i>	51
TRBU	Teknologi Rekayasa Bandar Udara	71

Lambang	Keterangan	Penggunaan Pertama Kali di Halaman
mm	mili meter	10
cm	centi meter	11
V	Volt	51
A	Ampere	51
W	Watt	51
Wh	Watt hour	52
mAh	mili Ampere hour	52

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Transportasi udara sangat penting di Indonesia karena merupakan cara yang cepat, efisien, dan murah untuk memindahkan orang dari satu pulau ke pulau lain atau dari satu daerah ke daerah lain. Meningkatnya permintaan terhadap jasa transportasi ini ditunjukkan oleh adanya kenaikan jumlah pengguna (Purba, 2017). Oleh karena itu, pembangunan bandar udara di berbagai wilayah Indonesia dipandang sebagai kebijakan pemerintah yang tepat. Langkah ini secara efektif berfungsi sebagai penggerak pembangunan regional dan pertumbuhan ekonomi, khususnya bagi kawasan-kawasan yang sebelumnya terisolasi (Paramahansa & Sari, 2022). Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Penerbangan, 2009, bandar udara merupakan kawasan di darat maupun perairan yang telah ditetapkan batas-batasnya dan berfungsi sebagai lokasi untuk aktivitas pesawat seperti pendaratan, lepas landas, menaikkan dan menurunkan penumpang, serta kegiatan bongkar muat barang. Selain itu, bandar udara juga menjadi titik perpindahan antar maupun intra moda transportasi, serta dilengkapi dengan sarana keselamatan dan keamanan penerbangan, termasuk fasilitas utama dan pendukung lainnya. Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang merupakan salah satu bandar udara di Indonesia yang memiliki peran penting dalam menunjang mobilitas transportasi udara.

Sebagai infrastruktur vital dalam sistem transportasi udara, keandalan dan keselamatan operasional di bandar udara menjadi prioritas utama (Chandra dkk., 2024). Tujuan penyelenggaraan penerbangan nasional yang diatur dalam undang-undang tersebut antara lain untuk menciptakan penyelenggaraan penerbangan yang tertib, terstruktur, aman, selamat, nyaman, dengan tarif yang wajar, serta menghindari terjadinya praktik persaingan usaha yang tidak sehat. Penyelenggaraan yang selamat dan aman, merupakan jaminan terpenting dalam

penerbangan, ini mengingat akan bahaya dan kecelakaan yang mudah ditimbulkan oleh penggunaan suatu pesawat udara. Keselamatan penerbangan merupakan keadaan di mana seluruh persyaratan keselamatan dalam pemanfaatan ruang udara, pengoperasian pesawat, bandara, layanan navigasi udara, serta fasilitas pendukung dan fasilitas umum lainnya telah terpenuhi (Poerwanto dkk., 2017). Keselamatan ini tergantung pada kondisi pesawat, cuaca, dan fasilitas yang mendukung operasional penerbangan (Papia dkk., 2017). Salah satu standar internasional yang mengatur keselamatan dan operasional bandar udara adalah Annex 14 dari *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Annex 14 menetapkan persyaratan teknis dan operasional untuk desain, pembangunan, dan pemeliharaan bandar udara, termasuk standar untuk *runway*, sistem drainase, dan pengelolaan genangan air di *runway* agar tidak mengganggu keselamatan penerbangan. Fasilitas yang memiliki peranan penting dalam seluruh kegiatan operasional suatu bandar udara berada di area *airside* yaitu *runway* (Riandi dkk., 2022). *Runway* adalah fasilitas terpenting dari sebuah bandar udara yang harus selalu dalam kondisi optimal untuk menjamin keselamatan penerbangan sehingga perlu dilakukan pemeliharaan yang baik terhadap landasan. Dalam melaksanakan pengawasan dan pemeliharaan *runway*, teknisi penerbangan pelaksana atau unit bangunan dan landasan bertanggung jawab terhadap hal tersebut (Firdausi & Supranoto, 2023).

Pemeliharaan (*maintenance*) adalah semua kegiatan yang dilakukan untuk menjaga peralatan agar tetap berfungsi, memperpanjang masa pakainya, serta memastikan operasional yang siap dan aman bagi pengguna, semuanya dengan biaya perawatan yang seefisien mungkin (Pradnyandari & Purnawati, 2019). *Maintenance* dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori. Pertama adalah *preventive maintenance*, yang merupakan serangkaian tindakan inspeksi dan pemeliharaan terjadwal untuk mencegah potensi kegagalan. Kedua adalah *corrective maintenance*, yang merupakan respons perbaikan terhadap kerusakan yang telah teridentifikasi atau terjadi pada sistem. Menurut (Ngadiyono, 2010), secara umum istilah pemeliharaan mempunyai pengertian sebagai berikut: 1) menjaga (*keep*) 2) mempertahankan (*preserve*) 3) melindungi (*protect*).

Salah satu tantangan utama dalam pemeliharaan *runway* adalah adanya genangan air yang dapat memengaruhi operasional pesawat, terutama saat mendarat dan lepas landas. Genangan air dapat menyebabkan peristiwa *hydroplaning* yaitu suatu kejadian ketika pesawat udara sedang berada pada kecepatan tertentu pada permukaan landasan pacu yang tergenang sehingga mengakibatkan adanya koefisien gesek, sehingga pesawat udara berpotensi meluncur keluar landasan (Maulana dkk., 2022). Menurut PR 21 tahun 2023 batas ketinggian minimal genangan air di *runway* yaitu 3 mm. Genangan air yang tidak segera terdeteksi dan melebihi batas minimal dapat mengganggu operasional penerbangan dan meningkatkan risiko kecelakaan pesawat akibat *hydroplaning* (R. P. G. Putri, 2017). Beberapa kecelakaan pesawat telah terjadi akibat *hydroplaning* misalnya, insiden yang terjadi pada tahun 2015 di bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, di mana pesawat tergelincir akibat adanya genangan air di *runway*. Selain itu, kecelakaan serupa juga terjadi di berbagai bandara internasional, seperti insiden *Air France* Penerbangan 358 di Toronto tahun 2005, di mana pesawat tergelincir keluar landasan akibat genangan air yang tidak terdeteksi dengan baik. Oleh karena itu, pemantauan kondisi *runway* menjadi sangat penting untuk memastikan keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan.

Bandar udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang adalah salah satu bandara yang melayani penerbangan domestik dengan frekuensi tinggi. Kondisi cuaca di Palembang yang sering mengalami hujan deras, terutama di musim penghujan, meningkatkan risiko munculnya genangan air di *runway*. Saat ini, pemantauan kondisi genangan air masih dilakukan secara manual yang dilakukan oleh petugas unit *Airport Air Side Facilities Department* (AASFD). Menurut wawancara dengan petugas AASFD, saat inspeksi setelah hujan petugas masih melakukan pengukur ketinggian air secara manual dan visual sehingga ketelitian pengukuran masih sangat tergantung pada individu yang melakukan pengukuran. Pengukuran ketinggian air masih dilakukan secara manual dan visual sehingga ketelitian pengukuran masih sangat tergantung pada individu yang melakukan pengukuran. Selain itu, bandar udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang pernah terjadi genangan air di ujung

runway 11 yang terdeteksi setelah hujan deras seperti pada Lampiran A. Namun, untuk tepatnya kedalaman genangan air belum pasti diketahui karena pengamatan masih dilakukan secara visual dan *air traffic controller* (ATC) mendapatkan keterlambatan informasi karena tidak adanya sistem pemantauan otomatis yang dapat mendeteksi dan mengirimkan data secara *real-time*. Akibatnya, keputusan untuk menunda, mengalihkan, atau mengizinkan penerbangan tetap berlangsung menjadi kurang optimal, yang berpotensi meningkatkan risiko operasional di bandar udara. Dengan demikian, perlu adanya metode yang efisien guna mengidentifikasi serta mengukur genangan air untuk menunjang keamanan operasi penerbangan.

Fungsi teknologi dalam pemeliharaan sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi pemeliharaan runway. Penelitian dan pengembangan teknologi pemantauan genangan air telah banyak dilakukan, salah satunya dengan pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT). Menurut studi yang dilakukan oleh (Chen dkk., 2021) sistem pemantauan berbasis IoT mampu memberikan data *real-time* terkait kondisi genangan air di berbagai infrastruktur, termasuk bandara. Inovasi terbaru dalam pemantauan genangan air di *runway* telah mengadopsi sistem berbasis sensor ultrasonik dan IoT yang nantinya terhubung dengan website. Sensor ultrasonik memungkinkan membaca atau mengukur ketinggian genangan air dengan akurasi tinggi (Hafidh, 2021). Dengan teknologi ini, data mengenai kondisi runway dapat diakses secara *real-time* oleh petugas pemeliharaan dan pengelola bandar udara, sehingga keputusan untuk menangani potensi bahaya dari genangan air dapat diambil secara lebih cepat dan tepat.

Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk mendeteksi genangan air dengan penggunaan Iot, U-Net, dan *microcontroller* raspberry Pi. Penelitian (Saputra, 2018) membahas tentang sistem pemantauan genangan air di jalan ini menggunakan konsep Iot untuk proses pengiriman data dari sensor dan dapat dimonitor melalui *smartphone* Android, sehingga informasi dapat lebih cepat diterima secara *realtime* ke pengguna. Selanjutnya penelitian (Hotmartua dkk., 2022) pembuatan alat ukur secara *realtime* untuk memantau tinggi air di landasan pacu dengan menggunakan 2 jenis sensor yaitu sensor optik dan

kamera. Sensor optik dirancang khusus mekaniknya sesuai dengan kebutuhan yang terdiri dari satuan milimeter. Penelitian dari (Melania dkk., 2018) dengan sistem *water level sensor* dipasang pada landas pacu bandar udara untuk mengetahui level genangan air yang ada pada lintasan pesawat udara. Sistem sensor ini akan bekerja dengan membaca banyaknya genangan air yang ada pada landas pacu akibat terjadinya hujan sehingga akan diketahui berapa ketinggian genangan air tersebut. Selanjutnya penelitian (Hosseiny, 2021) penggunaan U-Net dalam jurnal ini, menunjukkan pendekatan inovatif untuk memprediksi kedalaman dan luas banjir sungai. Dengan memanfaatkan input *multi-band* (elevasi dan debit) dan menghasilkan output kedalaman air, model ini berhasil mencapai akurasi tinggi dan efisiensi yang lebih baik. Penelitian (Hasanah dkk., 2020) penggunaan raspberry pi sebagai pusat sistem IoT canggih untuk deteksi banjir dan pengendalian pintu air otomatis berbasis website. Raspberry Pi mengintegrasikan sensor, motor servo, dan buzzer untuk pemantauan real-time dan respons otomatis.

Oleh karena itu, pengembangan sistem pemantauan genangan air berbasis IoT yang terhubung dengan *website* dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi permasalahan genangan air di *runway*, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional bandara. Dengan merancang sistem monitoring genangan air di *runway* Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang menggunakan mobil inspeksi yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik dan kamera yang terhubung ke *website* pemantauan bandara. Sistem ini diharapkan dapat memberikan data akurat mengenai kondisi genangan air di *runway*. Dengan diterapkannya sistem ini diharapkan akan meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemeliharaan landasan pacu. Kehadiran teknologi ini juga akan mengurangi ketergantungan pada inspeksi manual yang berisiko tinggi terhadap kesalahan manusia. Lebih lanjut, penerapan teknologi berbasis IoT dalam manajemen infrastruktur bandar udara diharapkan mampu meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan terkait pemeliharaan *runway*. Untuk mewujudkan tujuan-tujuan tersebut, penulis mengangkat judul tugas akhir: **"Pengembangan Alat Monitoring Genangan**

Air Pada Runway Guna Mendukung *Preventive Maintenance* di Bandar Udara”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat dirumuskan masalah bagaimana merancang alat monitoring genangan air pada *runway* guna mendukung *preventive maintenance* di Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada di bandar udara, batasan masalah yang penulis teliti dibatasi pada rancangan alat monitoring genangan air di *runway* untuk mendukung *preventive maintenance* bandar udara sampai pada tahap pengujian komponen dan alat.

D. Tujuan

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penulisan tugas akhir adalah merancang pengembangan alat monitoring genangan air guna mendukung *preventive maintenance* di Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang

E. Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang didapat dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Manfaat Akademis

Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem monitoring genangan air pada *runway* menggunakan teknologi sensor *machine learning* dan IoT. Menambah wawasan dan pemahaman mengenai penerapan teknologi sensor ultrasonik dalam dunia penerbangan dan infrastruktur bandar udara.

2. Manfaat Institusi

Penulisan Tugas Akhir ini secara strategis meningkatkan akreditasi Poltekbang Palembang melalui riset aplikatif yang relevan dengan kebutuhan bandar udara. Manfaat lainnya adalah pengayaan kualitas

pembelajaran dan peningkatan kompetensi sivitas akademika, penguatan jejaring industri, serta penyediaan aset penting untuk akreditasi dan pemenuhan Tri Dharma Perguruan Tinggi, yang keseluruhannya mengukuhkan posisi dan kontribusi institusi.

3. Manfaat Teknis

Meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pemantauan genangan air di *runway*, sehingga mempercepat proses pengambilan keputusan dalam pemeliharaan *runway*.

4. Manfaat Operasional

Membantu pengelola Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang dalam meningkatkan keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan dengan mengurangi risiko *hydroplaning*. Mempermudah petugas pemeliharaan dalam melakukan *preventive maintenance* berdasarkan data yang akurat dan sistematis.

5. Manfaat Ekonomis

Mengurangi biaya perbaikan *runway* akibat genangan air yang tidak tertangani dengan baik. Meminimalkan potensi keterlambatan atau pembatalan penerbangan akibat kondisi *runway* yang kurang optimal.

F. Sistematika Penulisan

Penyusunan Tugas Akhir ini dibagi secara sistematis ke dalam lima bab, dengan rincian sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan kerangka penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan dan batasan masalah, tujuan serta manfaat penulisan, metode yang diterapkan, dan diakhiri dengan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, disajikan tinjauan pustaka dan teori-teori dasar yang berfungsi sebagai kerangka acuan dalam pembuatan alat.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Memaparkan mengenai metode penilitan yang digunakan, perancangan, dan langkah- langkah pembuatan produk.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dipaparkan secara rinci mengenai hasil dan pembahasan perancangan alat sistem monitoring genangan air di *runway* yang menjadi fokus utama laporan ini.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, dipaparkan kesimpulan yang dirangkum dari seluruh hasil pembahasan, beserta saran yang relevan untuk penelitian di masa mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tinjauan pustaka yang menjadi landasan dalam penelitian. Pembahasan dimulai dengan deskripsi berbagai teori yang relevan dengan topik yang diangkat, yang selanjutnya akan diikuti dengan tinjauan terhadap penelitian terkait dan penyusunan kerangka berpikir.

A. Deskripsi Teori

1. Bandar Udara

Menurut Annex 14 ICAO Bandar Udara merupakan suatu kawasan khusus di darat maupun di perairan, yang di dalamnya terdapat bangunan, fasilitas, dan peralatan, yang digunakan secara penuh atau sebagian untuk kegiatan kedatangan, keberangkatan, serta pergerakan pesawat udara. Berdasarkan KP 326 Tahun 2019 bandar udara merupakan suatu area di darat dan/atau perairan dengan batas wilayah tertentu yang difungsikan sebagai tempat pesawat melakukan pendaratan dan lepas landas, aktivitas naik-turun penumpang, bongkar-muat barang, serta sebagai titik perpindahan antar moda maupun dalam satu moda transportasi. Area ini dilengkapi dengan fasilitas pendukung keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas utama dan tambahan lainnya.

2. *Runway*

Runway adalah Suatu lokasi yang memiliki area cukup memadai dan memenuhi ketentuan sebagai landasan bagi pesawat terbang, yang berfungsi sebagai tempat untuk pesawat melakukan pendaratan (*landing*) maupun lepas landas (*take off*) (Pratama, 2015). Sistem runway pada sebuah bandara terdiri atas struktur perkerasan, bahu landasan (*shoulder*), area bantal hembusan (*blast pad*), serta zona aman landasan (*runway and safety area*) (Malik & Ardan, 2019).

3. *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebelum suatu komponen atau sistem mengalami kerusakan, dengan tujuan mencegah terjadinya kegagalan fungsi. Kegiatan ini dilakukan secara berkala berdasarkan

interval waktu tertentu atau kriteria yang telah ditetapkan, guna meminimalkan risiko kerusakan atau penurunan kinerja peralatan (Kusnanto & Sugianto, 2021)

4. Inspeksi *Airside*

Inspeksi sisi udara (*airside*) bandar udara merupakan serangkaian kegiatan pemeriksaan dan pengawasan yang esensial pada area tempat pesawat beroperasi, yang mencakup *runway*, *apron*, dan *taxiway* (Nurnadia Hanum, 2021). Inspeksi sisi udara dilaksanakan oleh pihak berwenang seperti operator bandara atau regulator penerbangan untuk memastikan kelaikan operasional dan kepatuhan seluruh infrastruktur terhadap standar keselamatan. Proses ini krusial untuk menjaga lingkungan operasional bandar udara tetap aman, terjamin, dan andal dalam mendukung kegiatan penerbangan (Widagdo & Bataona, 2023).

Inspeksi ini meninjau berbagai aspek, seperti kondisi *runway*, marka dan penerangan, pemeliharaan apron, serta pengelolaan lalu lintas udara dan darat. Dalam proses ini, penting untuk mengidentifikasi potensi bahaya atau masalah yang dapat mengganggu operasional penerbangan, seperti retakan atau lubang pada *runway*, kerusakan tanda penunjuk, keberadaan benda asing yang membahayakan, atau genangan air di *runway*. Temuan dari inspeksi ini biasanya menjadi dasar dalam menentukan tindakan perbaikan yang diperlukan dan memastikan bahwa bandar udara tetap memenuhi standar keselamatan yang tinggi (Rahimudin & Tukan, 2023).



Gambar II. 1 Inspeksi sisi udara bandar udara
(Sumber: Penulis, 2024)

5. *Standing Water*

Standing water menciptakan permukaan yang sangat licin bagi roda pesawat, sehingga kinerja pengereman menjadi sangat buruk (Tejakesuma, 2018) Berdasarkan *Federal Aviation Administration (FAA)* dalam *Advisory Circular 150/5200-30D (Federal Aviation Administration Advisory Circular, 2020)*, *standing water* didefinisikan sebagai air yang memiliki kedalaman lebih dari 3 mm yang bertahan di permukaan landasan selama periode tertentu setelah hujan berhenti. Jika tidak ditangani dengan baik, *standing water* dapat menyebabkan risiko keselamatan penerbangan seperti *hydroplaning* (Anderson & Horne, 2006), penurunan kinerja rem, serta kerusakan struktur perkerasan landasan pacu.

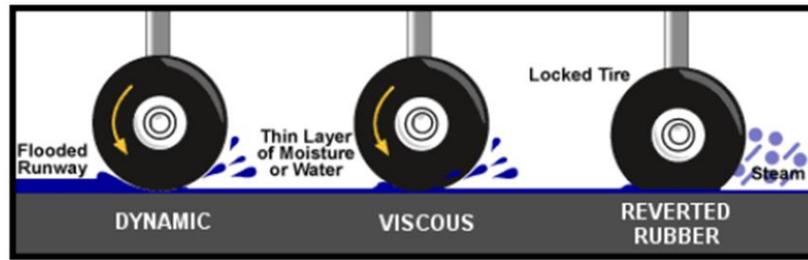
Keberadaan genangan air di area landas pacu bandara harus ditekan hingga seminimal mungkin. Hal ini dikarenakan genangan tersebut merupakan manifestasi dari berbagai masalah, seperti adanya kerusakan pada permukaan, kemiringan (*slope*) landasan yang tidak optimal untuk pengaliran air, serta fungsi

sistem drainase yang tidak bekerja secara maksimal. Mengacu pada ketentuan dalam KP 94 tahun 2015 dan SKEP 78-VI-2005, genangan umumnya timbul akibat adanya penurunan setempat pada permukaan perkerasan landas pacu, yang seringkali berbentuk elips. Terdapat batasan spesifik untuk genangan semacam ini, yaitu panjangnya tidak boleh melampaui 5 meter, dan total area yang tergenang tidak boleh lebih dari 25% dari keseluruhan luas landas pacu. Lebih lanjut, kedalaman genangan tersebut dibatasi maksimal 3 cm, sebuah standar yang ditetapkan berdasarkan KP 326 tahun 2019 dan juga selaras dengan ketentuan tabel yang terdapat dalam KP 94 tahun 2015 serta SKEP 78-VI-2005 (Utama dkk., 2024)

6. *Hydroplaning*

Hydroplaning adalah sebuah fenomena di mana roda pesawat kehilangan kontak langsung dengan permukaan *runway* akibat terbentuknya lapisan air di antara keduanya, baik selama fase lepas landas maupun pendaratan. Hilangnya traksi ini menyebabkan sistem pengereman menjadi tidak efektif, sehingga pesawat kehilangan kendali arah, tergelincir, dan berisiko mengalami *runway excursion* (keluar dari *runway*) (Hotmartua dkk., 2022).

Terdapat tiga jenis *hydroplaning*, yaitu *dynamic hydroplaning*, *viscous hydroplaning*, dan *reverted rubber hydroplaning*. *Dynamic hydroplaning* terjadi ketika roda pesawat tidak bersentuhan langsung dengan permukaan landasan karena adanya lapisan air setebal minimal 3 mm yang menutupi *runway*. *Viscous hydroplaning* disebabkan oleh sifat viskositas cairan di permukaan *runway*. Pada area touchdown, sering kali terdapat banyak sisa karet ban pesawat yang tertinggal, menyebabkan permukaan menjadi licin dan memicu terjadinya *hydroplaning*. Sementara itu, *reverted rubber hydroplaning* terjadi ketika roda pesawat berhenti berputar atau terkunci, dan hal ini dapat terjadi pada kecepatan berapa pun. Jenis *hydroplaning* ini umumnya lanjutan dari *dynamic* atau *viscous hydroplaning*, yang menyebabkan roda tidak lagi berputar secara normal (Putri, 2017).



Gambar II. 2 Ilustrasi tipe *hydroplaning*
(Sumber: *Federal Aviation Administration*, 2020)

7. Sistem Monitoring

Sistem monitoring merupakan proses terstruktur untuk mengevaluasi kinerja berdasarkan standar yang telah ditetapkan dalam perencanaan sistem. Tujuan utama dari sistem ini adalah membandingkan hasil kinerja nyata dengan standar yang dirancang, guna mengidentifikasi adanya penyimpangan dan melakukan tindakan perbaikan yang diperlukan (Widiastuti & Susanto, 2014).

8. Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

Sensor jarak ultrasonik berfungsi dengan memancarkan gelombang ultrasonik yang kemudian dipantulkan kembali oleh suatu objek. Sensor ini mendeteksi pantulan gelombang tersebut dan menghitung selang waktu antara saat gelombang dikirim dan saat diterima kembali. Dari selisih waktu tersebut, jarak antara sensor dan objek dapat ditentukan (Jayadi & Saputra, 2023).

Sensor JSN-SR04T bersifat *water proof* (tahan air) yang memiliki panjang kabel 1 meter dan modul sensor dengan empat pin: trigger, echo, ground, dan 5V. Sebagai sensor yang tahan air, ia bekerja dengan prinsip sonar. Untuk memancarkan dan menerima gelombang ultrasonik, sensor ini hanya mengandalkan satu komponen transmitter. Transmitter akan memancarkan gelombang ultrasonik ke dalam air (dengan sudut pancar 45 derajat), dan jika gelombang mengenai suatu objek, ia akan dipantulkan kembali ke *receiver*. Durasi waktu dari pemancaran hingga penerimaan kembali gelombang inilah yang diukur. Karena perubahan ketinggian air memengaruhi jarak pantul, maka pembacaan sensor akan berubah sesuai ketinggian air (Syefriana & Yohandri,

2020) Untuk mengukur ketinggian genangan air, digunakan prinsip dasar pengukuran ultrasonik dengan rumus:

$$\text{Jarak} : \frac{v \times t}{2}$$



Gambar II. 3 Sensor ultrasonik
(Sumber: Jayadi & Saputra, 2023)

9. *Artificial Intelligence*

Artificial Intelligence (AI) merupakan teknologi komputer yang dirancang untuk menjalankan berbagai tugas yang umumnya memerlukan kemampuan intelektual manusia. Sistem ini mampu mengambil keputusan dengan menganalisis serta memanfaatkan data yang telah tersimpan. Dalam operasinya, kecerdasan buatan melibatkan proses pembelajaran, penalaran, dan koreksi diri, yang menyerupai cara manusia menganalisis informasi sebelum menetapkan suatu keputusan (Lubis, 2021). AI berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional pesawat, memperkuat aspek keselamatan dalam penerbangan, serta mendukung terciptanya pengalaman perjalanan udara yang lebih nyaman dan memuaskan bagi para penumpang (Degas dkk., 2022) Penggunaan AI berpotensi memberikan dampak positif yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan di berbagai sektor penerbangan. Meski demikian, penerapan AI juga menghadirkan sejumlah tantangan dan risiko yang harus diantisipasi, seperti perlindungan data, pengembangan teknologi yang presisi dan responsif, serta kebutuhan akan regulasi dan kebijakan yang

mengatur pemanfaatan AI dalam dunia penerbangan (Biringkanae & Bunahri, 2023).

10. *Deep Learning*

Deep Learning adalah cabang dari kecerdasan buatan dan *machine learning* yang dikembangkan dari jaringan saraf berlapis-lapis (*multiple layer neural network*). Teknologi ini dirancang untuk meningkatkan akurasi dalam menjalankan berbagai tugas, seperti mendeteksi objek, mengenali suara, menerjemahkan bahasa, dan sebagainya (Raup dkk., 2022). *Deep Learning* merupakan salah satu bagian dari AI yang melatih komputer berfungsi memproses data dengan cara yang meniru struktur dan cara kerja otak manusia. Model ini mampu mengenali pola-pola kompleks dalam berbagai jenis data, seperti gambar, teks, suara, dan sebagainya, guna menghasilkan analisis dan prediksi yang akurat. Beberapa algoritma yang digunakan dalam *deep learning* antara lain RNN, CNN, LSTM, dan lainnya (Nurhakiki & Yahfizham, 2024).

11. U-Net

U-Net adalah model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang sangat populer dan sering digunakan untuk tugas segmentasi citra medis serta berbagai aplikasi pemrosesan citra lainnya. Arsitektur ini bertujuan untuk mengatasi masalah segmentasi gambar, yaitu untuk memisahkan objek dalam suatu gambar dari latar belakang (Rizki Mubarrok dkk., 2024).

Segmentasi citra dapat dipahami sebagai suatu metodologi komprehensif dalam pemrosesan citra digital yang melibatkan pemberian identitas unik atau label kepada setiap unit terkecil citra, yaitu piksel. Konsekuensi dari pelabelan ini adalah pembagian citra secara keseluruhan menjadi beberapa sub-wilayah atau bagian lebih kecil, dimana setiap bagian tersebut terdiri dari kumpulan piksel-piksel yang menunjukkan keseragaman karakteristik. Karakteristik ini bisa merujuk pada berbagai atribut visual seperti warna, tekstur, intensitas, atau properti lainnya yang dapat diukur. Segmentasi U-Net terdiri dari dua jalur pemrosesan informasi yang berbeda namun saling melengkapi jalur enkoder dan jalur dekoder. Jalur enkoder bertanggung jawab untuk melakukan analisis mendalam terhadap citra input guna mengekstraksi fitur-fitur kunci atau pola-

pola informatif. Selama proses ekstraksi fitur ini, jalur enkoder juga secara simultan melakukan operasi pengurangan dimensi spasial, artinya ukuran fisik (tinggi dan lebar) dari representasi fitur citra akan diperkecil. Di sisi lain, jalur dekoder menerima informasi fitur yang telah diproses oleh enkoder. Tugas utama jalur dekoder adalah menggunakan fitur-fitur tersebut untuk merekonstruksi peta segmentasi dengan resolusi penuh, yang pada akhirnya menjadi output dari sistem, menunjukkan klasifikasi setiap piksel ke dalam segmen yang sesuai (Naraloka dkk., 2022)

12. *Internet of Things (IoT)*

IoT adalah konsep yang mempunyai tujuan untuk memperluas pemanfaatan konektivitas internet secara berkelanjutan. Teknologi ini dapat diterapkan pada bangunan untuk mengontrol perangkat elektronik, seperti lampu ruangan, yang dapat dioperasikan dari jarak jauh melalui jaringan komputer. Pesatnya kemajuan teknologi perlu dimanfaatkan secara optimal, dipelajari dengan baik, dan diterapkan aktivitas sehari-hari (Efendi, 2018).

IoT merupakan teknologi masa kini yang dirancang untuk memaksimalkan pemanfaatan koneksi internet yang terus aktif. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung guna mempermudah aktivitas sehari-hari, menjadikannya lebih efisien dan praktis, sehingga pekerjaan manusia dapat diselesaikan dengan lebih mudah. Saat ini, IoT telah banyak digunakan di berbagai aspek kehidupan. Istilah "*Internet of Things*" terdiri dari dua komponen utama: "*Internet*," yang menunjukkan jaringan dan manajemennya, serta "*Things*," yang mengacu pada objek yang terhubung dan dapat berinteraksi antara manusia dengan komputer (Ayu Syahfitri, 2025).



Gambar II. 4 Internet of things

(Sumber: <https://diengcyber.com/mengenal-internet-of-things/>)

13. *Microcontroller Raspberry Pi*

Raspberry Pi adalah *single board computer* berfungsi layaknya sebagai computer yang mampu menjalankan sebuah sistem operasi (Priatim dkk., 2023). Sebagai sebuah komputer mini, *Raspberry Pi* yang berjalan dengan sistem operasi Raspbian dan prosesor ARM11 700MHz, memiliki tugas utama mengoperasikan komponen-komponen eksternal dan mengirimkan data yang dihasilkannya ke komputer untuk keperluan penyimpanan database. Ada dua model *Raspberry Pi*, yaitu A dan B, dengan perbedaan signifikan pada memori RAM: 256MB pada tipe A dan 512MB pada tipe B. Media penyimpanannya adalah kartu SD, menggantikan peran hard disk, dan perangkat ini juga menyediakan dua port USB, sebuah konektor HDMI, serta port Ethernet. Untuk beroperasi, *Raspberry Pi* memerlukan tegangan 5V, dengan arus setidaknya 500mA untuk model A dan 700mA untuk model B (Pridiatama & Agustin, 2021)



Gambar II. 5 Raspberry pi
(Sumber: Priatim dkk., 2023)

14. Arduino

Arduino UNO merupakan sebuah papan sirkuit mikrokontroler (yang beroperasi dengan basis chip ATmega328). Papan ini dirancang dengan serangkaian antarmuka untuk keperluan input dan output, yang mencakup 14 pin digital, di mana 6 di antaranya memiliki kapabilitas *Pulse Width Modulation* (PWM). Selain itu, tersedia pula 6 pin input analog untuk membaca sinyal sensor. Untuk mendukung operasionalnya, Arduino UNO dilengkapi dengan komponen esensial seperti osilator kristal berfrekuensi 16 MHz, konektor USB untuk komunikasi data dan daya, sebuah jek catu daya eksternal (*power jack*), header ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), serta tombol reset. Secara keseluruhan, Arduino UNO menyediakan platform yang siap pakai dan hanya memerlukan koneksi ke komputer melalui kabel USB atau catu daya eksternal (adaptor AC-ke-DC atau baterai) untuk dapat berfungsi (Adriansyah & Hidayatama, 2013).



Gambar II. 6 Arduino

(Sumber: Adriansyah & Hidayatama, 2013)

15. *Web-Camera*

Web Camera (webcam) merupakan istilah untuk kamera *real-time*, yaitu kamera yang menampilkan gambar secara langsung dan dapat diakses melalui *World Wide Web*, aplikasi pesan instan, atau layanan panggilan video (Ali, 2016). Dalam bidang pengolahan citra atau *image processing*, kamera memiliki peranan penting karena berfungsi sebagai alat untuk menangkap gambar dari objek yang akan dikenali atau dianalisis (A. R. Putri, 2016).

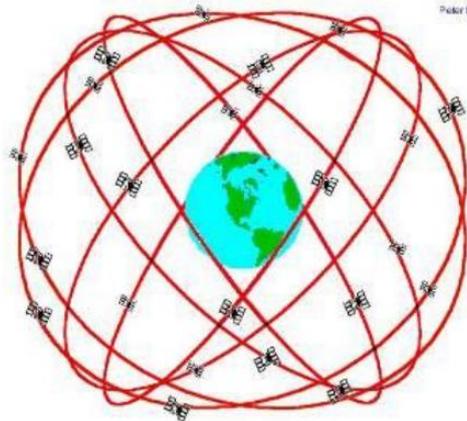


Gambar II. 7 *Web-cam*

(Sumber: <https://www.logitech.com/en-in/shop/p/c922-pro-stream-webcam>)

16. *Global Positioning System*

Global Positioning System (GPS) adalah sistem yang menggunakan satelit untuk navigasi dan penentuan lokasi. Sistem ini memungkinkan pengguna mengetahui keberadaan mereka di permukaan bumi berdasarkan data satelit (Ikbal dkk., 2017). Untuk melakukan fungsinya, GPS dipandu oleh sekitar 24 satelit yang berada dalam orbit tertentu. Setiap orang yang memiliki penerima GPS dapat menangkap sinyal yang dikirimkan oleh satelit. Prinsip dasar GPS adalah kalkulasi jarak (*ranging*) antara receiver dengan beberapa satelit. Tingkat akurasi lokasi yang ditampilkan akan semakin tinggi seiring bertambahnya jumlah satelit yang terhubung. (Anam dkk., 2018). GPS juga dapat menentukan titik-titik suatu lokasi genangan (Seprianto dkk., 2024).



Gambar II. 8 Ilustrasi satelit gps

(Sumber: Anam dkk., 2018)

17. Baterai

Baterai merupakan sel elektrokimia berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik. (Perdana, 2020). Baterai Lithium-Polymer (Li-Po) merupakan hasil pengembangan dari teknologi Lithium-Ion (Li-Ion) dan mulai diaplikasikan pada perangkat elektronik sejak tahun 1996. Dibandingkan Li-Ion, baterai Li-Po memiliki keunggulan dari segi biaya produksi yang lebih rendah serta ketahanan fisik yang lebih baik. Selain itu, Li-Po mampu menyimpan energi sekitar 20% lebih banyak dibandingkan Li-Ion. Baterai lithium bekerja melalui proses elektrokimia, di mana saat proses pengisian (*charging*), energi listrik dikonversi menjadi energi kimia, dan sebaliknya saat digunakan

(*discharging*), energi kimia diubah kembali menjadi energi listrik (Lamablawa & Aritonang, 2022).



Gambar II. 9 Baterai li-po

(Sumber: <https://www.lazada.co.id/products/cnhl-black-series-2200mah>)

18. Website

Website merupakan himpunan halaman yang berisi data digital dalam berbagai bentuk, mulai dari teks hingga multimedia, yang didistribusikan melalui internet agar dapat dijangkau dan dilihat oleh semua orang secara global (Susilawati dkk., 2020). *Website* merupakan gabungan dari beberapa halaman web dan file-file pelengkapannya (misalnya gambar, video, dan aset digital lainnya) ditempatkan pada server web supaya dapat dijangkau via internet. Secara fungsional, *website* juga bisa dipandang sebagai sekumpulan folder dan file yang memuat berbagai instruksi dan menjalankan tugas-tugas spesifik, seperti menampilkan konten atau mengelola data (Wahyudin & Rahayu, 2020).

Proses pengembangan aplikasi ini dibangun menggunakan bahasa-bahasa pemrograman yang dirancang secara spesifik untuk dapat diinterpretasikan oleh peramban web, seperti *Hypertext Markup Language* (HTML) untuk membangun struktur, *Hypertext Preprocessor* (PHP) untuk pemrosesan di sisi server, dan JavaScript untuk menciptakan interaktivitas di sisi pengguna (Fandopa & Santoso, 2022)

19. Pycharm

PyCharm adalah *Integrated Development Environment* (IDE) yang dirancang khusus untuk menulis kode dalam bahasa pemrograman Python. IDE ini unggul dalam persaingan berkat berbagai tools produktivitas yang disediakan, salah

satunya adalah fitur perbaikan cepat (*quick fixes*). PyCharm dikembangkan oleh perusahaan asal Ceko, JetBrains, dan versi beta pertamanya dirilis pada Juli 2010. Saat ini, PyCharm tersedia dalam dua versi: PyCharm *Professional Edition* yang memerlukan lisensi, dan PyCharm *Community Edition* yang bersifat *open-source* (Setiawan, 2022).

20. Hyper Text Markup Language

HTML memegang peranan esensial sebagai fondasi struktural sebuah halaman web. Fungsinya adalah untuk menyusun dan mengatur penempatan setiap komponen visual agar sesuai dengan tata letak yang telah dirancang. Kode sumber HTML ini disimpan dalam sebuah berkas (*file*) yang menggunakan ekstensi *.html*. Proses penulisan skrip HTML dapat dilakukan menggunakan penyunting teks dasar seperti *Notepad*. Namun, untuk efisiensi dan kemudahan, sangat dianjurkan menggunakan penyunting teks khusus (*code editor*) seperti *Notepad++* atau *Sublime Text*. Aplikasi sejenis ini memiliki kemampuan untuk mengenali sintaksis HTML dan menerapkan pewarnaan kode (*syntax highlighting*), di mana setiap elemen ditampilkan dengan warna berbeda sehingga secara signifikan meningkatkan keterbacaan kode (Permata Sari & Suhendi, 2020).

21. Cascading Style Sheet

Cascading Style Sheet (CSS) merupakan bahasa *stylesheet* yang esensial dalam pengembangan web, berfungsi untuk mendefinisikan dan mengelola presentasi visual dari elemen-elemen yang ditulis dalam HTML. Dengan memanfaatkan beragam properti yang disediakan, CSS memungkinkan pengembang untuk menerapkan gaya yang spesifik dan konsisten pada tampilan dokumen web. Namun, CSS seringkali tidak diklasifikasikan sebagai bahasa pemrograman murni karena strukturnya yang bersifat deklaratif; ia hanya terdiri dari serangkaian aturan yang menentukan gaya visual elemen, bukan instruksi algoritmik yang kompleks (Permata Sari & Suhendi, 2020)

Sebagai teknologi *stylesheet* yang fundamental dalam pengembangan web, CSS memegang peranan kunci dalam mengendalikan presentasi visual dari elemen-elemen HTML. Teknologi ini memungkinkan pengembang untuk menetapkan

gaya yang detail dan seragam di seluruh dokumen web dengan memanfaatkan serangkaian properti yang telah ditentukan. Meskipun demikian, terdapat perbedaan mendasar yang membuat CSS tidak digolongkan sebagai bahasa pemrograman, yaitu sifatnya yang deklaratif hanya berisi set aturan untuk mendefinisikan tampilan, bukan logika pemrosesan atau instruksi algoritmik yang kompleks (Maryanto, 2009)

22. JavaScript

JavaScript merupakan bahasa pemrograman esensial berfungsi mengubah halaman web statis menjadi pengalaman yang interaktif dan dinamis. Dengan memanfaatkan *JavaScript*, pengembang dapat dengan mudah menciptakan berbagai fitur yang meningkatkan keterlibatan pengguna, seperti validasi formulir secara langsung, animasi, galeri gambar, dan pembaruan konten real-time. Pada dasarnya, skrip JavaScript diintegrasikan ke dalam file HTML agar dapat dijalankan oleh browser, sehingga memberikan fungsionalitas pada elemen-elemen yang ada di halaman tersebut (Lay, 2017).

23. SQLite

SQLite merupakan sebuah *library* yang menyediakan mesin basis data SQL yang bersifat mandiri (*self-contained*), tidak memerlukan server (*serverless*), tanpa konfigurasi (*zero-configuration*), dan transaksional. Sifat *self-contained* berarti *SQLite* memiliki ketergantungan yang sangat minim terhadap *library* eksternal maupun sistem operasi. Konsep *serverless* menegaskan bahwa *SQLite* tidak memerlukan proses server terpisah untuk membaca atau menulis data; semua operasi dilakukan secara langsung pada file basis datanya dan tidak mendukung akses jarak jauh melalui jaringan. Hal ini berbeda dengan kebanyakan sistem basis data SQL lain yang beroperasi sebagai proses server. Selain itu, *SQLite* bersifat *zero-configuration*, yang artinya dapat langsung digunakan tanpa perlu proses instalasi yang rumit. Sebagai basis data transaksional, *SQLite* memastikan semua perubahan data mematuhi prinsip ACID (*Atomic, Consistent, Isolated, Durable*), sehingga integritas data tetap terjaga (Setiyadi & Harihayati, 2015).

24. Flask

Flask merupakan *framework web* dibuat dengan bahasa pemrograman Python dan termasuk dalam kategori *microframework*. *Framework* ini berperan sebagai dasar dalam pengembangan aplikasi web serta antarmukanya. Dengan memanfaatkan Flask dan Python, para pengembang bisa membangun situs web yang lebih terstruktur dan mengelola perilaku web tersebut dengan cara yang lebih sederhana dan efisien (Irsyad, 2018).

25. Python

Python merupakan bahasa pemrograman interpretatif yang serbaguna, didesain untuk memudahkan keterbacaan kode agar lebih mudah dipahami (Zein, 2018). Python telah menjadi bahasa pemrograman yang populer dan digunakan, baik oleh perusahaan-perusahaan besar maupun para pengembang perangkat lunak. Bahasa ini dimanfaatkan untuk mengembangkan beragam jenis aplikasi, mulai dari aplikasi desktop, web, hingga mobile. Popularitasnya ini tidak lepas dari beberapa faktor kunci, seperti desainnya yang sederhana, sintaksis yang mudah dipahami dan ringkas, serta ketersediaan ekosistem pustaka yang sangat melimpah dan bervariasi. (Romzi & Kurniawan, 2020).

Python merupakan bahasa pemrograman sumber terbuka (*open-source*) yang dapat diakses dan dikembangkan oleh siapa saja secara bebas. Sebagai bahasa tingkat tinggi yang diinterpretasi, Python menawarkan pendekatan yang menyederhanakan konsep pemrograman berorientasi objek. Python sangat relevan bagi para ilmuwan data untuk beragam aplikasi ilmu data, serta unggul dalam menangani fungsi matematika, statistik, dan ilmiah. Salah satu alasan utama penggunaannya yang luas dalam penelitian adalah karena kemudahan penggunaan dan sintaksisnya yang sederhana, membuatnya mudah dipelajari bahkan oleh orang tanpa latar belakang teknis (Muhammad & Yulianto, 2023).

Pengguna Python dimudahkan oleh beberapa fiturnya yang kuat. Pertama, Python menyediakan akses ke pustaka yang luas, dengan banyak modul siap pakai untuk berbagai keperluan sehingga tidak perlu membuat semuanya dari awal. Kedua, sintaksisnya dirancang agar jernih dan mudah dipelajari. Ketiga, aturan penulisan kode yang terstruktur membantu dalam membaca, memeriksa,

dan menulis ulang kode dengan lebih efisien. Keempat, Python mendukung paradigma berorientasi objek. Terakhir, Python memiliki fitur manajemen memori otomatis (seperti *garbage collection* di Java), yang membebaskan pengembang dari tugas pengelolaan memori manual (Clinton & Sengkey, 2019)



Gambar II. 10 Python

(Sumber: <https://en.wikiversity.org/wiki/Python>)

26. Bahasa C++

C++ adalah sebuah bahasa pemrograman yang diciptakan oleh Bjarne Stroustrup sebagai evolusi dari bahasa C. Bahasa C sendiri dikembangkan pada awal era 1970-an di Bell Labs oleh Dennis Ritchie, yang merupakan turunan dari bahasa pendahulunya, yaitu B. Pada mulanya, bahasa C dirancang secara spesifik untuk digunakan pada sistem operasi Unix, dan seiring perkembangannya, versi yang distandardisasi oleh *American National Standard Institute* (ANSI) menjadi yang paling dominan. Pada awal tahun 1980-an, Bjarne Stroustrup di Bell Labs mengembangkan C++ dengan tujuan utama untuk mempertahankan efisiensi dan dukungan pemrograman tingkat rendah (*low-level coding*) yang dimiliki C. Namun, C++ memperkenalkan konsep-konsep baru yang fundamental, seperti *class* (kelas) beserta sifat-sifatnya, yaitu *inheritance* (pewarisan) dan *overloading* (beban berlebih). Oleh karena itu, perbedaan yang paling mendasar antara C++ dengan bahasa C adalah dukungannya terhadap paradigma pemrograman berorientasi objek (*Object-Oriented Programming*) (Kurniawan, 2021).

B. Judul Relevan

Pada proses perencanaan dan pengembangan, penulis mengkaji berbagai penelitian terdahulu yang pernah dilakukan. Tinjauan ini diperlukan sebagai dasar pertimbangan dalam penyusunan tugas akhir.

Tabel II. 1 Daftar penelitian yang relevan

No.	Penelitian, Tahun, Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	(Hotmartua dkk., 2022) Alat Pengukur Ketinggian Air Pada Landasan Pacu Pesawat Dengan Metode <i>Image Processing</i>	Alat ini dirancang untuk mengukur ketinggian air dengan presisi tinggi melalui integrasi dua jenis sensor: optik dan kamera. Sensor optik, dengan mekanisme yang dirancang khusus, memberikan resolusi pengukuran dalam satuan milimeter. Fungsi ini didukung oleh kamera yang bertugas membaca pergerakan pelampung internal, di mana jaraknya terhadap kamera berubah seiring dengan masuknya air ke dalam perangkat. Seluruh operasi dan pemrosesan data dikendalikan oleh mini PC Raspberry Pi 3 sebagai unit kontrol utama. Selain itu alat dilengkapi dengan komunikasi wireless sehingga dapat dimonitoring dimana	Dalam penelitian terdapat 2 sensor yang digunakan yaitu sensor optik dan kamera. Kedua sensor ini digunakan untuk mengukur ketinggian genangan air, tetapi sensor ini hanya berfungsi mengukur ketinggian genangan air dengan pengukuran maksimal dengan sensor optik yaitu 3 mm sedangkan dengan metode <i>image processing</i> didapatkan pengukuran maksimal 5 mm. Pada alat ini belum adanya peringatan atau alarm dan

saja selama terkoneksi ke pengukuran luasan jaringan internet. Untuk genangan air memonitor dan mengendalikan alat dapat dilakukan dengan menggunakan software *VNC Viewer*. Hasil pengukuran menggunakan sensor *optical liquid water*

- 2 (Melania dkk., 2018) Penelitian Pengembangan Prototype Peralatan Untuk Mengukur Genangan Air (Standing Water) Di Landas Pacu Hasil penelitian ini berfokus Pada penelitian ini, pengembangan alat diletakkan prototype peralatan untuk tertanam di *shoulder runway*. Pada alat mengukur genangan air runway. Pada alat (*standing water*) di area tersebut digunakan 3 sensor yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Peletakan alat diluar ini akan meminimalkan risiko membuat peralatan kecelakaan pesawat akibat rawan kerusakan dan genangan air. Pembacaan sensor menjadi tidak akurat. Pembuatan alat ini juga memakan biaya yang besar karena alat akan dipasang sepanjang *shoulder runway*

- 3 (Budi Waluyo dkk., 2018) Hasil penelitian mengenai rancang bangun prototipe pemantau ketinggian air di runway pesawat terbang berbasis nirkabel menunjukkan bahwa keselamatan penerbangan, khususnya saat landing, sangat dipengaruhi oleh kondisi landasan pacu yang tergenang air. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keselamatan dengan memanfaatkan teknologi modern, yaitu menggunakan mikrokontroller Arduino Nano, sensor ultrasonik, dan modul *Bluetooth* untuk memantau ketinggian air secara *real-time*.
- Pada penelitian Rancang Bangun Prototipe Pemantau Ketinggian air di Runway Pesawat Terbang Berbasis Nirkabel Menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air dan mengirimkan data melalui Bluetooth. Data yang diperoleh dari sensor dikirim ke LCD melalui Bluetooth dengan jangkauan terbatas 20-25 meter, sehingga pemantauan hanya bisa dilakukan dalam area terbatas. Sistem ini juga hanya mengukur ketinggian air, tanpa adanya metode untuk mengukur luas genangan air. Selain itu, peringatan yang digunakan hanya berupa buzzer yang berbunyi jika

ketinggian air melebihi 1.27 cm, tanpa adanya indikator visual atau notifikasi jarak jauh.

- 4 (Saputra, 2018) Dengan menggunakan Penelitian “WATERSOR” aplikasi *Thingspeak* sebagai “WATERSOR” (Waterlogging Sensor) *web server*, sistem ini (Waterlogging Sensor) Monitoring Monitoring Genangan Air di Genangan Air di Kota Malang ke smartphone pengguna. Berbasis ThingSpeak Framework ThingSpeak Framework menggunakan sensor ultrasonik sebagai alat utama untuk mengukur ketinggian genangan air secara akurat dan mengklasifikasikan level genangan menjadi tiga kategori: normal, mengancam, dan siaga/waspada, dan awas. Data yang diperoleh dari sensor ultrasonic dan Arduino akan dipublikasikan kepada pengguna, sehingga mereka dapat mengambil tindakan preventif untuk menghindari area yang tergenang. platform ThingSpeak melalui koneksi internet. Sistem ini bersifat statis, di mana sensor dipasang di titik-titik rawan genangan dan tidak berpindah tempat. Selain itu, penelitian sebelumnya tidak

- menggunakan alat tambahan seperti kamera atau GPS untuk analisis lebih lanjut.
- 5 (Hendra dkk., 2023) Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pemantauan dan peringatan dini banjir untuk jalan raya. Sistem ini berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang bertugas mengakuisisi data ketinggian air dari sensor ultrasonik HC-SR04. Data tersebut kemudian dikirim secara nirkabel ke database real-time Firebase untuk penyimpanan. Sebagai antarmuka pengguna (UI), sebuah aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan MIT App Inventor digunakan untuk menampilkan hasil pemantauan dan notifikasi peringatan dini
- Penelitian sistem monitoring dan peringatan dini banjir pada jalan raya menggunakan komunikasi nirkabel dengan tampilan pada android menggunakan sensor ultrasonik HCSR04 untuk mendeteksi ketinggian genangan air. Sensor HCSR04 memiliki daya tahan air lebih rendah dan jangkauan pembacaan lebih rendah dibanding sensor JSN-SR04T

- 6 (Hosseiny, 2021) *A deep learning model for predicting river flood depth and extent* Penelitian ini menunjukkan bahwa U-Net, mencapai hasil yang signifikan dalam identifikasi luas banjir dan prediksi kedalaman air dengan akurasi tinggi (MAE 2.7 m dan peningkatan 29% untuk kedalaman maksimum). Model ini menawarkan efisiensi komputasi yang lebih baik dibandingkan model hidraulik tradisional, dengan potensi aplikasi luas dalam manajemen bencana banjir. Hasil ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis deep learning, khususnya U-Net, dapat merevolusi pemodelan banjir dengan memberikan solusi yang cepat, akurat, dan skalabel untuk tantangan hidrologi modern. Pada penelitian sebelumnya U-Net berfokus pada prediksi kuantitatif kedalaman banjir sungai dalam lingkungan simulasi, menggunakan input numerik dan tanpa integrasi perangkat keras. Sebaliknya, penelitian ini menerapkan U-Net dalam sistem IoT mobile untuk deteksi luasan genangan air di runway, terintegrasi dengan sensor, GPS, dan website untuk operasi real-time di bandara.
- 7 (Hasanah dkk., 2020) *Sistem Deteksi Banjir Dan Pintu Air Otomatis Menggunakan Raspberry Pi 3 Berbasis Website* Raspberry Pi 3 berperan sebagai inti sistem deteksi banjir dan pengendalian pintu air otomatis berbasis website. Ia mengolah data ketinggian air dari sensor HCSR-04 untuk mengklasifikasikan status SIAGA (3, 2, 1, atau pintu air dibuka). Raspberry Pi digunakan untuk sistem statis yang sederhana, fokus pada pengendalian pintu air dan pemantauan

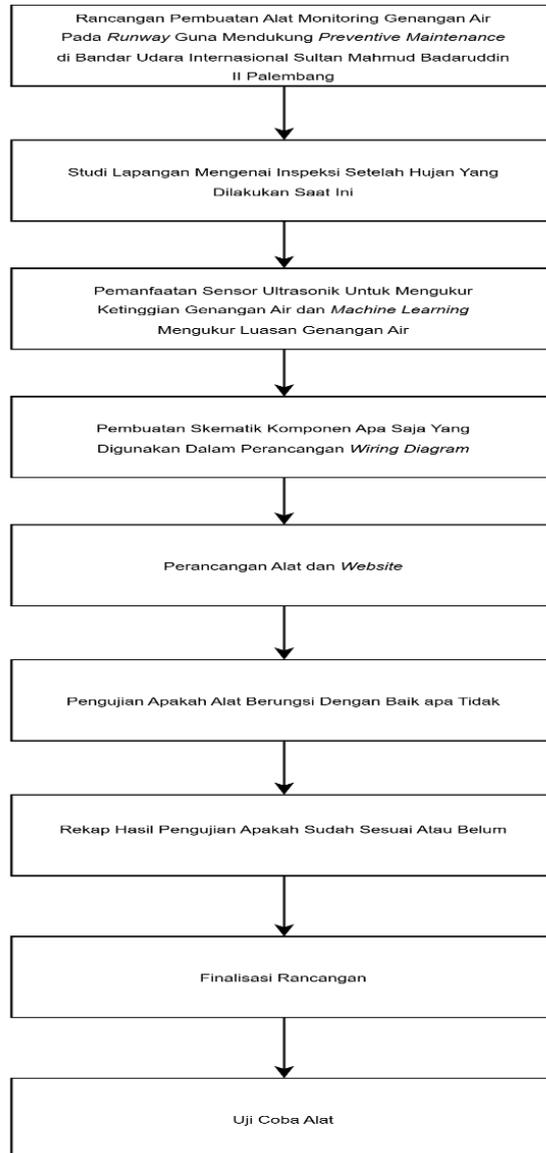
Pi mengendalikan motor servo ketinggian air di SG90 untuk membuka (180°) bendungan dengan atau menutup (0°) pintu air output website dan dan mengaktifkan buzzer peringatan buzzer. sebagai peringatan saat air Sebaliknya, dalam mencapai 18–22 cm. Data proposal runway, dikirim via Wi-Fi ke database Raspberry Pi MySQL dengan latensi 2 mendukung sistem detik, ditampilkan pada mobile yang website dinamis yang kompleks, memperbarui informasi mengintegrasikan ketinggian air, status, dan sensor ultrasonik, waktu secara real-time. Sistem kamera, GPS, dan ini akurat (ketelitian 99.4%), image processing responsif, dan hemat biaya, YOLO untuk mendukung pemantauan memantau genangan banjir yang efisien. air di runway secara real-time, dengan output visual (LCD, LED) dan notifikasi website, lebih cocok untuk kebutuhan keselamatan penerbangan yang dinamis dan kritis.

(Sumber: Penulis, 2025)

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir, di mana alur pikir penulisi digambarkan dengan lebih jelas dan relevan dengan masalah yang diteliti. Kerangka berpikir dapat digambarkan sebagai bagan yang menunjukkan alur pikir peneliti dan bagaimana variabel-variabel tersebut terkait satu sama lain (Syahputri dkk., 2023.) Adapun kerangka

berfikir dalam menentukan arah penelitian alat monitoring genangan air di *runway* pada gambar berikut:



Gambar II. 11 Kerangka berpikir
(Sumber: Penulis, 2025)