

**RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK
PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR
UDARA**

TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD ICHSAN RAMADHANI
NIT. 56192110018



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR
UDARA**

PROGRAM SARJANA TERAPAN

POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG

JULI 2025

**RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK
PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR
UDARA**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Program Sarjana Terapan

Oleh :

MUHAMMAD ICHSAN RAMADHANI

NIT. 56192110018



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR
UDARA**

PROGRAM SARJANA TERAPAN

POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG

JULI 2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SAND PATCH ROTATOR UNTUK PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR UDARA

Oleh:

MUHAMMAD ICHSAN RAMADHANI
NIT. 56192110018

**Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program
Sarjana Terapan**

Kekesatan permukaan landas pacu merupakan parameter krusial dalam menjaga keselamatan operasional penerbangan, khususnya saat kondisi cuaca basah. Metode pengukuran yang umum digunakan adalah *sand patch test*, namun pelaksanaannya secara manual masih menghadapi keterbatasan dalam hal konsistensi dan akurasi akibat subjektivitas operator serta gangguan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis kinerja prototipe *Sand Patch Rotator* sebagai inovasi alat bantu pengukuran kekesatan landas pacu. Metode yang digunakan adalah *Research and Development (R&D) model Borg & Gall* yang dimodifikasi hingga tujuh tahap, dengan teknik pengumpulan data melalui observasi lapangan, wawancara, validasi ahli, serta uji coba fungsional dan ketergunaan. Hasil validasi ahli menunjukkan skor sebesar 93,63% (kategori sangat baik). Uji fungsional membuktikan bahwa prototipe mampu menghasilkan sebaran pasir yang konsisten dengan koefisien variasi sebesar 2,03%. Rata-rata waktu operasional selama 49,33 detik mencerminkan peningkatan efisiensi dibanding metode manual. Dibandingkan metode manual, alat ini secara signifikan meningkatkan akurasi, efisiensi, dan konsistensi hasil pengukuran kekesatan. Dengan demikian, *Sand Patch Rotator* berpotensi menjadi solusi praktis bagi bandara dalam pemantauan kondisi landas pacu secara lebih andal.

Kata kunci: Kekesatan Landas Pacu, *Mean Texture Depth*, *Sand Patch Test*, *Sand Patch Rotator*

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SAND PATCH ROTATOR FOR RUNWAY SURFACE FRICTION MEASUREMENT AT AIRPORTS

By:

MUHAMMAD ICHSAN RAMADHANI
NIT. 56192110018

Program Study Airport Engineering Technology Applied Bachelor's Program

Runway surface friction is crucial for aviation safety. The sand patch test, a common measurement method at budget-constrained airports, has significant weaknesses. Its manual process is prone to inconsistent sand distribution from operator and environmental factors, yielding inaccurate Mean Texture Depth (MTD) values. This research aims to design and build a Sand Patch Rotator to improve measurement stability, precision, and efficiency. Adopting a modified Research and Development (R&D) Borg & Gall model, data were collected via observation, interviews with airside technicians, and expert validation. This non-motorized manual prototype was designed to overcome conventional method limitations. Results show the prototype rated "Very Good" with a 93.63% expert validation score. Trials proved its superior performance: high distribution precision with a 2.40% coefficient of variation. It is concluded that the Sand Patch Rotator is a valid, innovative solution to the manual method's weaknesses. This tool significantly improves the precision, consistency, and efficiency of runway friction measurement, potentially assisting airports in optimizing maintenance and enhancing aviation safety standards.

Keywords: Mean Texture Depth, Runway Friction, Sand Patch Test, Sand Patch Rotator

PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir : “RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR UDARA” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus pendidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Bandar Udara Angkatan ke-2, Politeknik Penerbangan Palembang – Palembang.



Nama : Muhammad Ichsan Ramadhani

NIT : 56192110018

PEMBIMBING I



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

Penata Tk.1 (III/d)

NIP. 19831213 201012 2 003

PEMBIMBING II



Dr. BAMBANG SETIAWAN, M.T.

Pembina Tk.1(IV/b)

NIP. 19800305 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 : “RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR UDARA” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan ke-2, Politeknik Penerbangan Palembang – Palembang. Tugas Akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Sarjana Terapan pada tanggal 15 Juli 2025.

KETUA



Dr. Capt. AHMAD HARIRI, S.T., S. SiT., 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)

NIP. 19880308 202012 1 006

LEMBAR PENYERTAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ichsan Ramadhani
NIT : 56192110018
Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa tugas akhir berjudul : “RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR UDARA“ merupakan karya asli bukan merupakan hasil plagiarisme.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila kemudian 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, 15 Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD ICHSAN RAMADHANI

56192110018

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Program Studi 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 di tulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Ramadhani Muhammad Ichsan (2025): RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR UDARA, 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
Ayahanda Ir.Fuadi dan Ibunda Hikmala Dewi

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa, Penguasa Semesta Alam. Perjalanan panjang dalam penyusunan Tugas Akhir ini akhirnya mencapai puncaknya. Berkat kehendak dan pertolongan-Nya, karya tulis yang berjudul “RANCANG BANGUN *SAND PATCH ROTATOR* UNTUK PENGUKURAN KEKESATAN LANDAS PACU DI BANDAR UDARA” dapat terwujud. Penulisan ini dilakukan sebagai pemenuhan salah satu syarat akademis untuk meraih gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Palembang. Proses ini sarat akan tantangan, namun dukungan, doa, dan semangat yang tak henti-hentinya mengalir dari orang-orang terdekat menjadi kekuatan bagi penulis untuk terus melangkah. Maka, pada kesempatan yang berharga ini, izinkan penulis menghaturkan apresiasi dan terima kasih mendalam kepada:

1. Untuk Ibunda tercinta, Hikmala Dewi, wanita paling hebat dan sumber kekuatan utama penulis. Terima kasih atas segala perjuangan dan pengorbanan tanpa batas dalam membesarkan serta menyekolahkan putra-putranya hingga jenjang sarjana, meski harus seorang diri sejak penulis duduk di bangku kelas lima sekolah dasar. Doa dan dukunganmu yang tak pernah putus adalah bahan bakar bagi penulis untuk dapat menyelesaikan karya akhir ini. Semoga ini menjadi secercah kebahagiaan untukmu, Bu.
2. Untuk Ayahanda tercinta, almarhum Ir. Fuadi, yang senantiasa penulis rindukan. Kepergian Ayah mengajarkan bahwa hidup tak selamanya sejalan dengan keinginan. Namun impian Ayah jugalah yang menjadi alasan terkuat penulis untuk menyelesaikan pendidikan kedinasan ini hingga akhir. *This is for you.*
3. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada jajaran pimpinan Politeknik Penerbangan Palembang. Dengan hormat, penulis berterima kasih kepada Bapak Dr. Capt. AHMAD HARIRI, S.T., S.Si.T., M.Si. selaku Direktur, serta Bapak Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara.

4. Proses penyelesaian Tugas Akhir ini tidak akan berjalan lancar tanpa arahan, bimbingan, dan kesabaran dari dua pembimbing yang luar biasa. Penulis menghaturkan rasa terima kasih yang mendalam kepada Ibu Ir. Direstu Amalia, S.T., MS.ASM., dan Bapak Dr. Bambang Setiawan, S.Kom., M.T. Keduanya telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan masukan kritis, bimbingan teknis, serta motivasi yang tak henti-hentinya sejak awal hingga akhir penyusunan.
5. Rasa hormat dan terima kasih penulis haturkan kepada jajaran dosen penguji. Diskusi, arahan, dan masukan konstruktif yang diberikan selama proses sidang akhir sangat membantu penulis dalam menyempurnakan setiap bagian dari karya ini.
6. Penghargaan setinggi-tingginya juga penulis sampaikan kepada seluruh Dosen, Instruktur, serta Pengasuh di lingkungan Politeknik Penerbangan Palembang atas dedikasi, ilmu, dan bimbingan yang telah membentuk wawasan penulis selama menempuh pendidikan.
7. Apresiasi khusus penulis sampaikan kepada Nona Pemilik Notar 2201334. Dukungannya yang konsisten, terutama saat penulis menghadapi kebuntuan, menjadi faktor krusial hingga Tugas Akhir ini rampung. Terima kasih telah menjadi inspirasi untuk selalu memberikan yang terbaik. Penyelesaian studi ini adalah persembahan kecil atas segala energi positif yang telah diberikan.
8. Senior Mohammad Lukmanul Hakim yang telah memberikan arahan, bimbingan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan Tugas Akhir.
9. Terima kasih kepada adik-adik asuh saya, Daffa, Nabila, Zahira, dan Yoga, yang telah menjadi turut serta memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.

Palembang, 15 Juli 2025



MUHAMMAD ICHSAN RAMADHANI

56192110018

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
PENGESAHAN PEMBIMBING	i
PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
LEMBAR PENYERTAAN KEASLIAN.....	v
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	4
F. Sistematika penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
A. Deskripsi Teoritik.....	6
1. Pemeliharaan Landas Pacu.....	6
2. Pemeliharaan Kekesatan (<i>Skid Resistance</i>)	8
3. <i>Sand Patch</i>	10
4. Pedal Penggerak Memutar	13
B. Kajian Peneliti Terdahulu yang Relevan	15
C. Kerangka Berpikir.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
A. Metode Penelitian	20
B. Prosedur Penelitian.....	20
C. Teknik Analisis Data	42
D. Jadwal Pelaksanaan.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45

A. Analisis Kebutuhan dan Identifikasi Masalah	45
B. Desain Produk.....	51
C. Validasi Desain.....	59
D. Revisi Desain	62
E. Pembuatan Alat	65
F. Uji Coba Alat.....	71
G. Pembahasan	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
A. Simpulan.....	81
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Salah Satu Kegiatan Pemeliharaan Landas Pacu.....	6
Gambar II. 2 Kegiatan Pengukuran Kekesatan Landas Pacu menggunakan <i>Sand Patch</i> .	10
Gambar II. 3 Pedal Penggerak Memutar secara Manual.....	13
Gambar II. 4 Pedal Penggerak Memutar menggunakan Motor	14
Gambar II. 5 Kerangka Berfikir Penelitian <i>Sand Patch Rotator</i>	19
Gambar III. 1 Metode Penelitian <i>R&D</i>	20
Gambar III. 2 Metode Penelitian <i>Sand Patch Rotator R&D</i>	21
Gambar IV. 1 <i>Sand Patch Test</i>	46
Gambar IV. 2 Penyebaran Pasir yang Tidak Merata	46
Gambar IV. 3 Wawancara Langsung dengan Supervisor Unit Infrastruktur	48
Gambar IV. 4 Wawancara Langsung dengan Teknisi Unit Infrastruktur	48
Gambar IV. 5 Rancangan Daftar Komponen <i>Sand Patch Rotator</i>	58
Gambar IV. 6 Desain <i>Wind Shield</i>	63
Gambar IV. 7 Desain Final Daftar Komponen <i>Sand Patch Rotator</i>	64
Gambar IV. 8 Pembuatan Desain <i>Sand Patch Rotator</i> Menggunakan <i>SketchUp</i>	66
Gambar IV. 9 Pemotongan Besi Rangka <i>Sand Patch Rotator</i>	66
Gambar IV. 10 Pengelasan Besi Rangka <i>Sand Patch Rotator</i>	67
Gambar IV. 11 Pengecatan Rangka <i>Sand Patch Rotator</i>	68
Gambar IV. 12 Proses Pemisahan Pasir Menggunakan <i>Shieve Shaker</i>	69
Gambar IV. 13 Hasil Pemisahan Fraksi Pasir Menggunakan <i>Shieve Shaker</i>	69
Gambar IV. 14 Flowchart Cara Kerja <i>Sand Patch Rotator</i>	70

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Standar Pengecekan Kekesatan Landas Pacu	9
Tabel II. 2 Tingkat Kekesatan Landas Pacu menggunakan <i>Mean Texture Depth</i>	11
Tabel III. 1 Instrumen Observasi <i>Sand Patch</i> Secara Manual.....	23
Tabel III. 2 Instrumen Wawancara <i>Sand Patch Rotator</i>	25
Tabel III. 3 Rancangan Pertanyaan Responden <i>Sand Patch Rotator</i>	27
Tabel III. 4 Daftar Nama Teknisi Unit Infrastruktur Bandara Radin Inten II.....	29
Tabel III. 5 Tabel Instrumen Validasi Desain	31
Tabel III. 6 Tabel Kriteria Jawaban dengan Skala Likert.....	34
Tabel III. 7 Tabel Kriteria Presentase Tanggapan Responden.....	35
Tabel III. 8 Instrumen Tingkat Kepuasan Penggunaan <i>Sand Patch Rotator</i>	40
Tabel III. 9 Daftar Nama Validator Kepuasan Penggunaan <i>Sand Patch Rotator</i>	42
Tabel III. 10 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	43
Tabel IV. 1 Nilai Responden Kuesioner <i>Sand Patch Rotator</i>	50
Tabel IV. 2 Spesifikasi <i>Sand Patch Rotator</i>	52
Tabel IV. 3 Rancangan Desain <i>Sand Patch Rotator</i>	57
Tabel IV. 4 Nilai Instrumen Validasi Desain	59
Tabel IV. 5 Hasil Validasi Kualitatif <i>Sand Patch Rotator</i>	61
Tabel IV. 6 Revisi Desain <i>Sand Patch Rotator</i>	63
Tabel IV. 7 Hasil Observasi Uji Sebaran Pasir Menggunakan <i>Sand Patch Rotator</i>	72
Tabel IV. 8 Data Pengukuran Diameter Pasir Menggunakan <i>Sand Patch Rotator</i>	73
Tabel IV. 9 Hasil Perhitungan Statistik Deskriptif	73
Tabel IV. 10 Hasil Observasi Uji Stabilitas <i>Leveling Foot</i>	74
Tabel IV. 11 Hasil Uji Waktu Operasional Penyebaran Pasir.....	75
Tabel IV. 12 Hasil Observasi Uji Mobilitas <i>Sand Patch Rotator</i>	76
Tabel IV. 13 Hasil Observasi Uji Kepuasan Penggunaan <i>Sand Patch Rotator</i>	76
Tabel IV. 14 Nilai Instrumen Validasi Kepuasan Penggunaan <i>Sand Patch Rotator</i>	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Dokumentasi Kegiatan Saat Observasi	86
Lampiran B Instrumen Wawancara.....	88
Lampiran C Transkrip Wawancara.....	88
Lampiran D Hasil Kuesioner <i>Google Form</i>	89
Lampiran E Manual Book <i>Sand Patch Rotator</i>	91
Lampiran F Proses Validasi Desain <i>Sand Patch Rotator</i>	92
Lampiran G Lembar Validasi Desain <i>Sand Patch Rotator</i>	93
Lampiran H Proses Penyesuaian Pasir Standar ASTM E965	96
Lampiran I Proses Pengujian <i>Sand Patch Rotator</i>	98
Lampiran J Proses Validasi Kepuasan Penggunaan <i>Sand Patch Rotator</i>	100
Lampiran K Lembar Validasi Kepuasan Penggunaan <i>Sand Patch Rotator</i>	101
Lampiran L Lembar Bimbingan.....	102
Lampiran M Turnitin.....	102

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Penggunaan Pertama Kali pada Halaman
SOP	<i>Standard Operating Procedure</i>	1
BPT	<i>British Pendulum Tester</i>	2
CFME	<i>Continuous Friction Measuring Equipment</i>	2
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>	4
R&D	<i>Research and Development</i>	7
MTD	<i>Mean Texture Depth</i>	7
OJT	<i>On The Job Training</i>	18
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i>	19
FOD	<i>Foreign Object Debris</i>	23
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>	27
SD	Standar Deviasi	32
KV	Koefisien Variasi	32

Lambang	Nama	Penggunaan Pertama Kali pada Halaman
V	Volume pasir standar (cm ³)	11
D	Diameter rata-rata lingkaran pasir (cm)	11
π	Konstanta matematis (3,14159)	11
P _{total}	Total kebutuhan panjang (cm)	29
D _{holder}	Diameter <i>Clamp Holder</i> (cm)	29
J _{antar}	Jarak Ergonomis Antar- <i>Holder</i> (cm)	29
D	Diameter rata-rata (mean)	32
$\sum D_i$	Jumlah dari seluruh nilai data diameter yang diukur	32
n	Jumlah total percobaan atau pengukuran yang dilakukan / Jumlah data atau percobaan / Jumlah pengguna uji	32
sD	Deviasi standar sampel	32
D _i	Nilai data ke-i (diameter hasil uji)	32
KV	Koefisien variasi	32
t̄	Rata-rata waktu penyelesaian tugas (detik)	33

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bandar udara harus memenuhi standar operasional tinggi untuk menjamin keselamatan dan efisiensi transportasi udara. Salah satu aspek penting dalam standar ini adalah kondisi landas pacu, yang berperan krusial dalam proses lepas landas dan pendaratan pesawat. Guna memastikan keselamatan, permukaan landas pacu harus memiliki tingkat kekesatan yang memadai agar mencegah risiko tergelincirnya pesawat, terutama saat kondisi cuaca buruk (Febiyanti dkk., 2021). Sesuai dengan KP 326 Tahun 2019 tentang Standar Teknis dan Operasional Keselamatan Penerbangan Sipil, pemeliharaan kekesatan landas pacu merupakan tanggung jawab unit *airside* dan harus dilakukan secara berkala dengan mengacu pada *Standard Operating Procedure* (SOP) yang berlaku seperti yang diterapkan di Bandara Radin Inten II Lampung. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur kekesatan adalah *sand patch*, yaitu dengan menyebarkan pasir pada permukaan landas pacu untuk mengukur ketidakrataan mikro dari perkerasan aspal (Pangestu dkk., 2022). Hasil pengukuran ini menjadi indikator tingkat kekesatan landas pacu sekaligus dasar dalam menentukan langkah perawatan yang diperlukan. Selain metode *sand patch*, terdapat metode lain berbasis distribusi air seperti *British Pendulum Tester* (BPT) yang digunakan untuk menilai kekesatan, terutama pada permukaan basah. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena hasil pengukurannya dapat bervariasi akibat pengaruh kelembaban dan distribusi air pada landas pacu. Oleh karena itu, metode *sand patch* tetap menjadi pilihan utama dalam berbagai regulasi penerbangan, karena lebih sederhana, tidak memerlukan alat kompleks, dan memberikan hasil yang lebih konsisten.

Metode *sand patch* masih dilakukan secara manual, sehingga hasil pengukurannya dapat bervariasi akibat faktor subjektif operator dan membutuhkan waktu yang relatif lama. Untuk mengatasi keterbatasan ini, teknologi canggih seperti *Mu Meter* atau *Continuous Friction Measuring Equipment* (CFME) telah dikembangkan guna mengukur kekesatan secara otomatis. Namun, keterbatasan fasilitas menyebabkan tidak semua bandara di Indonesia dapat mengakses peralatan ini, sehingga banyak bandara masih mengandalkan metode *sand patch* sebagai standar pengukuran kekesatan permukaan landas pacu (Aji, 2011).

Hasil observasi di Bandara Radin Inten II Lampung menunjukkan bahwa proses *sand patch test* secara manual masih menghadapi beberapa kendala teknis. Wawancara dengan teknisi lapangan unit *airside* mengungkapkan bahwa penyebaran pasir secara manual sering menghasilkan pola yang tidak konsisten, terutama dalam kondisi angin kencang atau permukaan yang tidak rata, sehingga mempengaruhi akurasi pengukuran. Selain itu, alat logam yang kurang ergonomis menyebabkan distribusi pasir menjadi tidak stabil. Menurut Bapak Liuzhiro Solihin, *Supervisor* Unit Infrastruktur Bandara Radin Inten II Lampung, hasil pengukuran yang tidak akurat dapat mempengaruhi evaluasi kondisi landas pacu, yang berpotensi berdampak pada keselamatan penerbangan serta perencanaan pemeliharaan bandara.

Penelitian terdahulu telah mengkaji berbagai metode pengukuran kekesatan, termasuk teknologi berbasis air seperti *British Pendulum Tester* (BPT) dan pemindaian laser *profilometer*. Penelitian yang dilakukan oleh Cui (2022) menunjukkan bahwa meskipun metode ini dapat digunakan pada permukaan basah, hasilnya sangat dipengaruhi oleh kelembaban, distribusi air, dan memerlukan kalibrasi yang cermat serta keterampilan operator yang tinggi. Sementara itu, penelitian Hao (2016) mengkaji penggunaan laser *profilometer* berbasis air, yang akurasinya dipengaruhi oleh variabilitas tingkat penguapan, fluktuasi suhu permukaan, dan biaya operasional yang relatif tinggi. Kendala ini menyebabkan metode tersebut belum banyak diadopsi di bandara dengan keterbatasan fasilitas. Di sisi lain, metode *sand patch* tetap menjadi standar

utama dalam pengukuran kekesatan landas pacu karena lebih sederhana dan tidak memerlukan alat kompleks. Penelitian oleh Rio Pangestu (2022) menunjukkan bahwa metode ini digunakan untuk mengukur *Mean Texture Depth* (MTD) sebagai acuan utama dalam strategi pemeliharaan bandara. Hasil pengujian di Bandara Juwata Tarakan (Yanuar Aditya dkk., 2022) menunjukkan bahwa rata-rata kedalaman tekstur kurang dari 1,5 mm, yang menandakan perlunya pemeliharaan lebih lanjut guna memastikan keselamatan operasional pesawat. Berbagai penelitian sebelumnya juga telah membahas metode *sand patch* (Fahmi, 2019; Nisa, 2022; Riadi dkk., 2022), tetapi masih berfokus pada teknik manual. Hingga saat ini, inovasi dalam metode ini masih terbatas, sehingga diperlukan pengembangan teknologi lebih lanjut agar efektivitas dan konsistensi pengukuran dapat ditingkatkan.

Sebagai upaya mengatasi keterbatasan metode *sand patch*, penelitian ini mengembangkan inovasi *Sand Patch Rotator*. Inovasi ini bertujuan meningkatkan akurasi pengukuran dengan menghasilkan penyebaran pasir yang lebih stabil dan presisi. Desain rotator yang lebih ergonomis diharapkan dapat mengurangi variasi hasil akibat faktor subjektif operator dan meningkatkan efisiensi waktu pengukuran guna mendukung keselamatan operasional penerbangan. Dengan alat ini, pengukuran kekesatan landas pacu dapat dilakukan lebih konsisten dan akurat, sekaligus menjadi solusi bagi bandara yang masih mengandalkan metode *sand patch* manual. Inovasi ini berpotensi meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan infrastruktur landas pacu serta mendukung tercapainya standar keselamatan penerbangan yang lebih optimal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis latar belakang yang telah disampaikan, penelitian ini akan mengangkat permasalahan utama yang menjadi fokus kajian. Adapun perumusan masalahnya yaitu bagaimana merancang dan menganalisis kinerja *Sand Patch Rotator* sebagai alat pengukuran kekesatan landas pacu yang sesuai dengan standar yang berlaku dan mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi metode *sand patch*?

C. Batasan Masalah

Agar pembahasan tetap terarah, penelitian ini dibatasi pada pengembangan prototipe *Sand Patch Rotator* sebagai alat pengukuran kekesatan landas pacu dengan sistem manual tanpa motor atau baterai. Pengukuran menggunakan metode *sand patch* dengan analisis terbatas pada volume pasir silika, pola sebaran pasir, dan nilai makrotekstur (MTD). Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium atau area terbatas yang merepresentasikan landas pacu, tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan seperti cuaca dan perawatan jangka panjang. Standar yang digunakan mengacu pada *ICAO Annex 14* dan regulasi Kementerian Perhubungan Indonesia, tetapi tidak mencakup penggunaan operasional di bandar udara komersial maupun sertifikasi resmi.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis kinerja *Sand Patch Rotator* sebagai alat pengukuran kekesatan landas pacu yang sesuai dengan standar yang berlaku. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas alat dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi metode *sand patch*.

E. Manfaat Penelitian

1. Bagi Instansi

Penelitian ini berpotensi meningkatkan keselamatan operasional bandar udara dengan menyediakan *Sand Patch Rotator* sebagai alat yang lebih efektif dalam mengukur kekesatan landas pacu. Dengan alat ini, pemeliharaan landas pacu dapat dilakukan lebih akurat, sehingga risiko tergelincirnya pesawat akibat permukaan yang kurang optimal dapat diminimalkan.

2. Bagi Penulis

Penelitian ini memberikan manfaat bagi peneliti dalam mengembangkan keterampilan perancangan dan pembuatan alat pengukuran kekesatan landas pacu berbasis metode *sand patch*. Selain itu, penelitian ini meningkatkan pemahaman dalam menganalisis kinerja alat dan mengevaluasi efektivitasnya berdasarkan standar yang berlaku. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi

referensi bagi pengembangan inovasi alat serupa dalam penelitian lanjutan di bidang teknologi rekayasa bandar udara.

3. Bagi Politeknik Penerbangan Palembang

Penelitian ini berpotensi berkontribusi pada pengembangan kurikulum dan penelitian terkait teknologi pemeliharaan infrastruktur bandar udara. Selain itu, alat yang dikembangkan dapat digunakan dalam kegiatan praktikum mahasiswa untuk meningkatkan pengalaman belajar di bidang rekayasa penerbangan. Penelitian ini juga dapat memfasilitasi riset lebih lanjut dalam keselamatan penerbangan, khususnya terkait pengukuran kualitas landas pacu guna mendukung operasional penerbangan yang lebih aman dan efisien.

F. Sistematika penulisan

Sistematika Penulisan Tugas Akhir ini dibagi dalam 5 bab, setiap bab memiliki tujuannya masing-masing. Berikut penjelasan tujuan masing-masing bab tersebut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab 1 ini penulis mendeskripsikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisi tentang teori- teori yang digunakan dalam penelitian, teori penunjang, dan kajian penelitian terdahulu yang relevan sebagai perbandingan produk yang dihasilkan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil dari metodologi penelitian yang dijabarkan dalam bentuk pembahasan dan pengoperasian produk.

Didapat kesimpulan menyeluruh dari hasil dan pembahasan serta saran-saran untuk perbaikan atau aspek lain yang perlu dikaji lebih lanjut.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Deskripsi Teoritik

1. Pemeliharaan Landas Pacu

Pemeliharaan, yang didefinisikan sebagai upaya menjaga dan mengembalikan kondisi teknis suatu aset pada tingkat layanan yang telah ditentukan, merupakan komponen vital dalam operasional bandar udara, khususnya pada landas pacu (*runway*). Hal ini penting untuk menunjang keselamatan penerbangan dan menjaga efektivitas operasional bandar udara. Aspek ini diatur secara spesifik dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 69 Tahun 2013 tentang Standar Teknis dan Operasional Bandar Udara (STOBU), yang mengamankan pelaksanaan pemeliharaan secara periodik untuk memastikan kondisi landas pacu tetap laik operasi (*serviceable*). Kegagalan dalam pemeliharaan dapat berimplikasi pada degradasi struktur perkerasan, yang secara langsung meningkatkan potensi bahaya (*hazard*) dan risiko (*risk*) yang dapat mengganggu regularitas operasi penerbangan hingga menyebabkan insiden atau aksiden. Secara teknis, lingkup pemeliharaan landas pacu mencakup, namun tidak terbatas pada, inspeksi visual dan terukur, perbaikan struktural perkerasan, serta pemeliharaan karakteristik permukaan untuk menjaga nilai kekesatan (*friction*) dan kerataan (*evenness*) sesuai standar yang berlaku.



Gambar II. 1 Salah Satu Kegiatan Pemeliharaan Landas Pacu

Berdasarkan Manual Perawatan Fasilitas Bandar Udara yang diterbitkan oleh Direktorat Jendral Perhubungan (2017), pemeliharaan landas pacu diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama :

a. Pemeliharaan Preventif

Pemeliharaan preventif merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal dan sistematis untuk mencegah potensi kerusakan atau penurunan kinerja fasilitas sebelum terjadi kegagalan. Pemeliharaan ini mencakup tindakan seperti pembersihan rutin dan penggunaan aplikasi bahan pelindung guna menjaga kondisi struktural dan fungsional landas pacu. Implementasi langkah ini berperan penting dalam memperpanjang masa operasional landas pacu dan mengurangi potensi biaya perbaikan besar di masa mendatang.

b. Pemeliharaan Korektif

Pemeliharaan korektif merupakan jenis pemeliharaan yang dilakukan setelah terdeteksi adanya kerusakan atau penurunan fungsi pada suatu fasilitas. Pemeliharaan ini bertujuan untuk memperbaiki kerusakan minor yang tidak secara langsung berdampak pada operasional penerbangan. Contohnya meliputi perbaikan retakan kecil serta penambalan permukaan yang mengalami keausan guna menjaga kondisi struktural landas pacu.

c. Pemeliharaan Rekonstruktif

Pemeliharaan rekonstruktif merupakan jenis pemeliharaan yang dilakukan ketika suatu fasilitas atau infrastruktur mengalami kerusakan signifikan dan tidak dapat diperbaiki melalui pemeliharaan preventif atau korektif. Pemeliharaan ini mencakup perbaikan besar atau rekonstruksi landas pacu akibat kerusakan struktural yang serius. Jenis pemeliharaan ini umumnya memerlukan waktu lebih lama dan biaya lebih tinggi, tetapi sangat penting untuk memastikan keamanan operasional jangka panjang.

2. Pemeliharaan Kekesatan (*Skid Resistance*)

Kekesatan permukaan (*surface friction*) pada dasarnya adalah kemampuan landas pacu untuk memberikan cengkeraman (*grip*) yang efektif terhadap ban pesawat guna mencegah selip. Kemampuan ini merupakan parameter esensial yang secara langsung memengaruhi keselamatan operasional penerbangan. Karakteristik friksi ini berfungsi untuk menjamin unjuk kerja pengereman (*braking action*) dan pengendalian arah pesawat yang adekuat, terutama pada fase kritis seperti pendaratan (*landing*) dan lepas landas (*take-off*) dalam kondisi permukaan terkontaminasi air. Kewajiban untuk memonitor parameter ini secara periodik diatur dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 94 Tahun 2015. Regulasi tersebut mewajibkan penyelenggara bandar udara untuk memastikan nilai koefisien gesek permukaan perkerasan tidak berada di bawah ambang batas minimum yang telah ditetapkan. Degradasi nilai kekesatan berimplikasi langsung pada penurunan efektivitas pengereman, sehingga meningkatkan risiko terjadinya *runway excursion*, baik dalam bentuk *overshoot* (melewati ujung landas pacu) maupun *veer-off* (keluar dari sisi landas pacu).

Beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap penurunan kekesatan antara lain adalah jenis material perkerasan landas pacu, kondisi cuaca, dan akumulasi residu karet ban pesawat. Jenis material perkerasan landas pacu berperan dalam ketahanan terhadap deformasi, di mana perkerasan beton semen lebih stabil dan tahan terhadap perubahan bentuk, sedangkan perkerasan aspal lebih lentur tetapi lebih rentan terhadap perubahan suhu. (Surya Anjas, 2018). Selain itu, curah hujan tinggi dapat menyebabkan genangan air yang menurunkan nilai gesekan permukaan, sehingga sistem drainase yang efektif sangat diperlukan untuk menjaga kondisi permukaan tetap optimal (Suse Lamtiar dkk., 2023). Faktor lain yang juga memengaruhi kekesatan adalah akumulasi karet dari ban pesawat yang sering mendarat. Residu ini dapat mengurangi daya cengkeram permukaan landas pacu, sehingga diperlukan pembersihan rutin dengan metode mekanis atau bahan kimia guna mempertahankan tingkat kekesatan yang memadai (Rahmawati & Rahman, 2016).

Sesuai dengan ketentuan yang berlaku, pengelola bandara wajib melakukan pengecekan kekesatan secara berkala untuk memastikan nilai gesekan permukaan tetap dalam batas aman. Pengecekan ini mempertimbangkan frekuensi jumlah pendaratan pesawat di bandara, sebagaimana disajikan dalam Tabel II.1.

Tabel II. 1 Standar Pengecekan Kekesatan Landas Pacu

Frekuensi pendaratan per hari	Pengecekan Rutin
< 15	1 tahun
16 - 30	6 bulan
31 - 90	3 bulan
91 - 150	1 bulan
151 - 210	2 minggu
> 210	1 minggu

(Sumber : KP 94 Tahun 2015)

Hasil laporan pengecekan kekesatan digunakan untuk menilai kondisi permukaan landas pacu. Jika ditemukan penurunan nilai kekesatan yang signifikan, tindakan pemeliharaan harus segera dilakukan guna mengembalikan kondisi permukaan agar tetap aman. Selanjutnya, hasil pengecekan tersebut dilaporkan kepada Kepala Unit Penyelenggara Bandar Udara yang bertanggung jawab atas operasional bandara.

Dalam upaya menjaga kekesatan landas pacu tetap optimal, terdapat beberapa metode pemeliharaan yang dapat diterapkan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pembersihan dengan air bertekanan tinggi, yang efektif menghilangkan residu karet tanpa merusak permukaan landas pacu (Shahrial dkk., 2022). Selain itu, penggunaan bahan kimia juga sering diterapkan untuk melarutkan dan membersihkan lapisan karet yang menumpuk akibat gesekan ban pesawat (Yanuar Aditya dkk., 2022). Dengan penerapan metode pemeliharaan yang tepat dan pengecekan berkala, kekesatan landas pacu dapat terjaga dengan baik, sehingga keselamatan operasional penerbangan tetap terjamin.

3. *Sand Patch*

Sand Patch merupakan salah satu teknik pengujian volumetrik konvensional yang digunakan untuk kuantifikasi kedalaman tekstur makro (*macrotexture*) pada permukaan perkerasan. Prosedur pengujian ini melibatkan penuangan volume pasir silika yang telah terkalibrasi ke suatu area permukaan yang bersih, kemudian meratakannya hingga membentuk sebuah lingkaran di mana rongga-rongga tekstur permukaan terisi penuh. Diameter rata-rata dari lingkaran pasir tersebut kemudian diukur untuk menghitung nilai *Mean Texture Depth* (MTD), yang menjadi parameter kuantitatif tekstur permukaan (Seno & Ahyudanari, 2015). Nilai MTD yang tinggi merepresentasikan permukaan dengan tekstur makro yang dalam, yang sangat efektif dalam menyediakan jalur drainase bagi air di bawah telapak ban. Hal ini krusial untuk memitigasi risiko *hydroplaning* dan menjaga performa pengereman (Sutarto dkk., 2020). Sebaliknya, nilai MTD yang rendah mengindikasikan bahwa permukaan perkerasan cenderung halus (*smooth*) dan berpotensi tidak aman, sehingga memerlukan tindakan perbaikan atau perlakuan permukaan (*surface treatment*) untuk merestorasi tingkat kekesatannya.



Gambar II. 2 Kegiatan Pengukuran Kekesatan Landas Pacu menggunakan *Sand Patch*

Pengukuran kekesatan menggunakan metode *sand patch* dilakukan melalui beberapa tahap. Permukaan perkerasan dibersihkan dari debu dan kotoran yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Selanjutnya, pasir silika dengan ukuran partikel tertentu (0,25 mm - 0,5 mm) ditimbang sesuai volume standar yang telah ditetapkan. Pasir tersebut kemudian dituangkan secara perlahan di atas permukaan perkerasan dan diratakan menggunakan alat penyebar hingga membentuk lingkaran seragam. Setelah itu, diameter rata-rata lingkaran diukur menggunakan penggaris atau alat ukur digital, lalu nilai MTD dihitung dengan rumus:

$$MTD = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2}$$

Di mana:

V : Volume pasir standar (cm³)

D : Diameter rata-rata lingkaran pasir (cm)

π : Konstanta matematis (3,14159)

Nilai MTD yang diperoleh dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk menentukan tingkat kekesatan permukaan landas pacu. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai MTD diklasifikasikan sebagaimana ditampilkan pada Tabel II.2.

Tabel II. 2 Tingkat Kekesatan Landas Pacu menggunakan *Mean Texture Depth*

Nilai MTD (mm)	Tingkat Kekesatan
$0,00 < HS \leq 0,20$	Sangat Halus
$0,20 < HS \leq 0,40$	Halus
$0,40 < HS \leq 0,80$	Sedang
$0,80 < HS \leq 1,20$	Kasar
$HS > 1,20$	Sangat Kasar

(Sumber : KP 94 Tahun 2015)

Keakuratan metode *sand patch* sangat bergantung pada kualitas pasir silika yang digunakan. Pasir silika berperan penting dalam metode ini karena karakteristik fisik dan kimianya yang stabil serta konsisten. Pasir yang digunakan harus memiliki distribusi butiran seragam dengan ukuran antara 0,25 mm hingga 0,5 mm, sebagaimana diatur dalam standar ASTM E965 (Nofrianto & Dwi Astika, 2023). Stabilitas kimiawi pasir silika memastikan material ini tidak bereaksi dengan perkerasan dan tidak mengalami perubahan sifat selama pengukuran. Selain itu, tingkat kekerasannya yang tinggi membuat pasir tidak mudah pecah, sehingga volumenya tetap konstan dan hasil pengukuran menjadi lebih akurat (Cakrawijaya dkk., 2022).

Meskipun pasir silika berperan penting dalam memastikan keakuratan pengukuran, metode *sand patch* memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Hasil pengukuran sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kondisi cuaca, kelembaban, dan kebersihan permukaan landas pacu (Riadi dkk., 2022). Angin kencang dapat mengganggu penyebaran pasir, menyebabkan ketidakakuratan dalam pengukuran diameter lingkaran. Jika permukaan basah, pasir cenderung menggumpal dan sulit menyebar merata, yang berdampak pada ketidakesesuaian hasil perhitungan MTD (Sjahdanulirwan & Dachlan, 2013). Di samping faktor lingkungan, metode *sand patch* juga memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi. Pengukuran dilakukan secara manual, memerlukan ketelitian tinggi dan waktu lebih lama dibandingkan metode otomatis. Setiap titik pengukuran hanya mencakup area terbatas, sehingga beberapa pengukuran tambahan diperlukan guna mendapatkan gambaran menyeluruh dari kondisi landas pacu (Fahmi, 2019). Variasi hasil juga dapat terjadi akibat perbedaan keterampilan dan konsistensi operator, terutama dalam teknik penyebaran pasir dan pengukuran diameter lingkaran (Nisa, 2022). Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan inovasi dalam teknologi pengukuran guna meningkatkan konsistensi dan keakuratan hasil. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pengembangan alat rotator, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan kondisi landas pacu dengan menerapkan metode

pengukuran sesuai standar yang berlaku. Dengan demikian, data yang diperoleh menjadi lebih akurat dan konsisten guna mendukung keselamatan operasional bandara.

4. Pedal Penggerak Memutar

Pedal penggerak merupakan salah satu komponen yang berfungsi untuk memutar alat, baik secara manual maupun dengan bantuan motor. Setiap jenis pedal penggerak memiliki mekanisme yang berbeda, tergantung pada cara pengoperasiannya. Adapun pedal penggerak dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama, yaitu pedal penggerak manual dan pedal penggerak bermotor.

a. Pedal Penggerak Memutar secara Manual

Metode manual mengandalkan tenaga manusia dan umumnya lebih sederhana karena tidak memerlukan peralatan tambahan selain alat utama. Beberapa alat tradisional dapat dioperasikan dengan memutar tuas atau pedal menggunakan tangan atau kaki. Pendekatan ini cocok untuk kondisi yang tidak membutuhkan kecepatan tinggi atau tenaga penggerak besar (Sugiyanto dkk., 2021).



Gambar II. 3 Pedal Penggerak Memutar secara Manual
(Sumber : Istock, 2020)

b. Pedal Penggerak Memutar menggunakan Motor

Dalam aplikasi yang memerlukan efisiensi tinggi dan operasi berkelanjutan, motor listrik atau mesin pembakaran internal menjadi pilihan ideal. Motor mampu menghasilkan daya besar secara stabil, memungkinkan operasi tanpa henti serta mengurangi risiko kelelahan operator. Keunggulan ini

menjadikannya solusi utama dalam industri manufaktur dan konstruksi, di mana tenaga penggerak yang andal sangat dibutuhkan untuk menjaga produktivitas (Firdaus & Hartawan, 2022).



Gambar II. 4 Pedal Penggerak Memutar menggunakan Motor
(Sumber : *Global Spec*, 2023)

Pemilihan metode manual atau mesin bergantung pada kebutuhan spesifik suatu tugas. Pada pekerjaan berskala kecil yang memerlukan presisi tinggi, metode manual lebih praktis dan ekonomis. Sebaliknya, industri yang membutuhkan efisiensi dan kecepatan tinggi lebih mengandalkan mesin karena mampu beroperasi terus-menerus tanpa mengalami kelelahan seperti operator manusia. Dalam industri manufaktur dan konstruksi, misalnya, mesin bertenaga motor lebih disukai karena meningkatkan produktivitas kerja.

Prototipe *Sand Patch Rotator* menggunakan sistem pedal manual untuk mengontrol rotasi dalam penyebaran pasir pada metode sand patch. Pemilihan sistem ini didasarkan pada stabilitas dan akurasi distribusi pasir, yang berpengaruh terhadap keakuratan pengukuran kekesatan permukaan landas pacu. Penggunaan motor dalam mekanisme rotasi berisiko menciptakan perputaran terlalu cepat, yang dapat menimbulkan efek angin sehingga pasir tersebar tidak merata atau terbuang dari area pengukuran. Kondisi ini dapat menyebabkan jumlah pasir yang digunakan bisa lebih sedikit dari standar yang berlaku, menyebabkan nilai MTD yang dihasilkan tidak valid. Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, sistem pedal manual lebih sesuai karena memastikan distribusi pasir yang stabil dan konsisten.

B. Kajian Peneliti Terdahulu yang Relevan

Kajian penelitian terdahulu yang relevan adalah penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki keterkaitan dengan judul serta topik yang akan diteliti. Kajian ini bertujuan untuk menghindari duplikasi penelitian dengan permasalahan yang sama serta menjadi referensi dalam pengembangan studi yang lebih lanjut. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan.

1. Riadi dkk. (2022): EVALUASI PEMELIHARAAN RUNWAY DI BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA BANDUNG.

Penelitian yang dilakukan oleh Riadi dkk. (2022) bertujuan mengevaluasi efektivitas program pemeliharaan *runway* dengan menganalisis kondisi permukaan, termasuk pengukuran kekesatan menggunakan metode *sand patch* untuk menentukan *Mean Texture Depth* (MTD). Persamaan dengan penelitian ini terletak pada objek kajian, yakni kekesatan permukaan landas pacu, dan penggunaan metode *sand patch* sebagai acuan. Meskipun demikian, perbedaan mendasar terletak pada fokus penelitian. Penelitian Riadi bersifat evaluatif terhadap program pemeliharaan yang ada, sedangkan penelitian ini berfokus pada rancang bangun (inovasi alat) untuk mengoptimalkan pelaksanaan metode pengukuran itu sendiri agar lebih efisien dan objektif.

2. Yanuar Aditya dkk. (2022) : TINJAUAN METODE DAN PROSEDUR MAINTENANCE FASILITAS SISI UDARA BANDAR UDARA JUWATA TARAKAN.

Penelitian Yanuar Aditya dkk. (2022) mengkaji metode dan prosedur pemeliharaan fasilitas sisi udara, di mana kondisi kekesatan permukaan menjadi salah satu indikator utama. Kesamaan dengan penelitian ini adalah pembahasan mengenai pengukuran kekesatan di fasilitas sisi udara dengan acuan metode *sand patch*. Akan tetapi, fokus penelitian Aditya adalah pada tinjauan prosedur *maintenance* yang telah berjalan, sementara penelitian ini menitikberatkan pada pengembangan teknologi perangkat keras (*Sand Patch Rotator*) untuk meningkatkan efisiensi proses pengukuran.

3. Fahmi (2019) : EVALUASI PERKERASAN RUNWAY, TAXIWAY, DAN APRON BANDAR UDARA ABDURACHMAN SALEH MALANG.

Penelitian Fahmi (2019) mengevaluasi kondisi perkerasan di Bandar Udara Abdurachman Saleh untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan. Persamaannya adalah fokus pada kekesatan perkerasan dan penggunaan metode *sand patch*. Namun, penelitian ini memiliki nilai kebaruan yang signifikan karena secara eksplisit menyoroti bahwa metode *sand patch* dilakukan secara manual dan merekomendasikan pengembangan alat bantu yang lebih efisien dan akurat. Dengan demikian, penelitian ini secara langsung menjawab celah penelitian (*research gap*) yang diidentifikasi oleh Fahmi dengan merancang alat yang dimaksud.

4. Nisa (2022) : EVALUASI PERKERASAN FASILITAS SISI UDARA BANDAR UDARA INTERNASIONAL AJI PANGERAN TUMENGGUNG PRANOTO SAMARINDA.

Penelitian oleh Nisa (2022) mengevaluasi kondisi perkerasan di Samarinda dengan menjadikan tingkat kekesatan sebagai parameter kunci yang diukur menggunakan metode *sand patch*. Penelitian ini memiliki benang merah yang sama dalam hal topik dan metode acuan. Perbedaannya, penelitian Nisa merupakan studi evaluasi kondisi eksisting untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan, sedangkan penelitian ini merupakan penelitian rekayasa dan perancangan yang outputnya adalah sebuah purwarupa alat ukur baru.

5. Shahrial dkk. (2022).: PENGARUH PEMBERSIHAN RUBBER DEPOSIT TERHADAP NILAI UJI KEKESATAN PADA LANDAS PACU.

Penelitian Shahrial dkk. (2022) menganalisis dampak kegiatan pembersihan *rubber deposit* terhadap nilai kekesatan. Kesamaannya terletak pada variabel yang diukur (kekesatan) dan penggunaan metode *sand patch*. Namun, fokusnya berbeda secara fundamental. Penelitian Shahrial menganalisis efektivitas suatu tindakan pemeliharaan, sementara penelitian ini berfokus pada inovasi pada instrumen pengukuran untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi pengambilan data.

6. Kumar dkk. (2023): *A STATE-OF-THE-ART REVIEW OF MEASUREMENT AND MODELLING OF SKID RESISTANCE: THE PERSPECTIVE OF DEVELOPING NATION*.

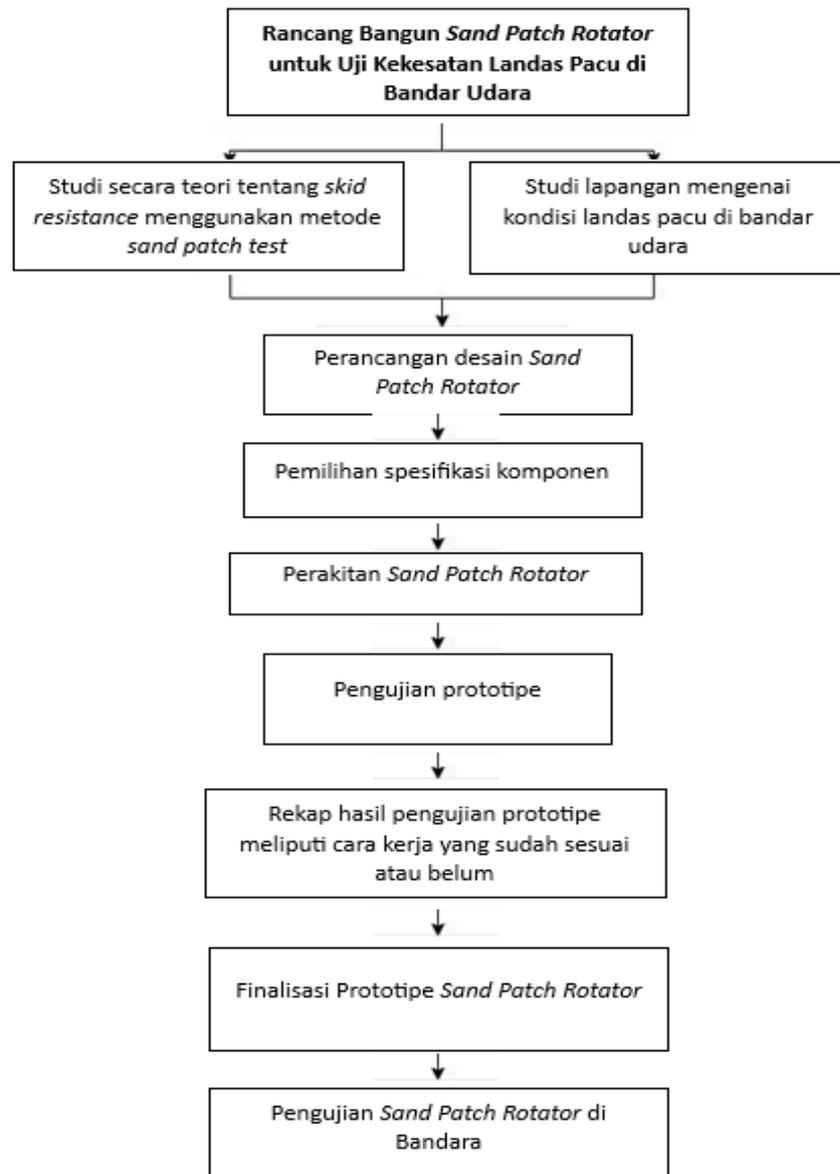
Studi literatur oleh Kumar dkk. (2023) memberikan tinjauan komprehensif mengenai berbagai metode pengukuran kekesatan. Persamaannya adalah pembahasan mendalam mengenai metode *sand patch* dan kelemahannya, seperti subjektivitas operator dan efisiensi yang rendah. Namun, sebagai sebuah studi literatur, penelitian Kumar bersifat teoretis dan komparatif. Sebaliknya, penelitian ini bersifat praktis dan implementatif, dengan tujuan mengatasi kelemahan yang diulas dalam studi tersebut melalui rekayasa mekanis (*Sand Patch Rotator*).

7. Tian dkk. (2020).: *PAVEMENT MACROTEXTURE DETERMINATION USING MULTI-VIEW SMARTPHONE IMAGE.*

Penelitian Tian dkk. (2020) mengembangkan metode alternatif untuk menentukan MTD menggunakan analisis citra dari kamera *smartphone*. Tujuan kedua penelitian ini serupa, yaitu mengatasi keterbatasan metode *sand patch* manual. Perbedaan fundamental terletak pada pendekatan solusi. Penelitian Tian mengusulkan solusi berbasis perangkat lunak (*software*) dan pengolahan citra, sementara penelitian ini menawarkan solusi berbasis rekayasa perangkat keras (*hardware*) dan mekanisasi pada prosedur yang sudah ada.

C. Kerangka Berpikir

Adapun kerangka berfikir dalam menentukan arah penelitian *Sand Patch Rotator* terlampir pada Gambar II. 5 berikut:



Gambar II. 5 Kerangka Berfikir Penelitian *Sand Patch Rotator*