

**Evaluasi Kekesatan Runway Menggunakan MuMeter Run Report
(Studi Kasus : Bandar Udara Budiarto – Curug)**

Ika Endrawijaya¹, Wahyu Dwi Agustini², Tiara Nugrahayani³,

Risqi Wahyu Jati Utama⁴

^{1,2,3,4}Teknik Bangunan dan Landasan, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Alamat e-mail : ¹ika.endrawijaya@ppicurug.ac.id, ²wahyuagustini@ppicurug.ac.id,
³tiara_nugrahayani@dephub.go.id, ⁴risqiwahyujatiutama@gmail.com

ABSTRACT

Budiarto Airport has a runway, taxiway, and apron with flexible pavement and a PCN of 37 F/C/X/T. Flexible pavement is elastic, in this case asphalt, while rigid pavement uses concrete and is more rigid. With the increase in aircraft movements, an evaluation of the runway pavement condition using the Pavement Condition Index (PCI) is necessary to determine the condition of the pavement surface. PCI is a visual test that assists in the maintenance and repair of pavements when necessary. The results of the PCI survey of Runway 12-30 at Budiarto Airport were 99.10, which is classified as "good," indicating that the runway pavement surface is still in good functional condition. This is one of the safety factors in aviation, namely the condition of the runway. The more aircraft that operate, the more rubber deposits accumulate on the runway. This causes the runway to become slippery, which can cause aircraft to skid because the brakes cannot work effectively. To avoid the risk of accidents, regular checks of runway skid resistance are necessary. There are several methods that can be used to check the condition of runway friction, one of which is using a MuMeter device. Based on the tests that have been carried out and based on Government Decree No. 94 of 2015 in classifying the damage and roughness experienced on the runway at Budiarto Airport, recommendations for handling the Budiarto runway can be obtained, namely "Major Rehabilitation (overlay or similar methods)".

Keywords: Flexible pavement, Pavement Evaluation, Pavement Condition Index (PCI), MuMeter, roughness, Runway Pavement Repair.

ABSTRAK

Perkerasan lentur bersifat elastis, dalam hal ini aspal, sementara perkerasan rigid menggunakan beton dan memiliki sifat yang lebih kaku. Dengan peningkatan pergerakan pesawat, evaluasi kondisi perkerasan runway menggunakan *Pavement Condition Index* (PCI) diperlukan untuk menentukan tingkat kondisi permukaan perkerasan. PCI adalah pengujian visual yang membantu dalam pemeliharaan dan perbaikan perkerasan jika diperlukan. Hasil dari survey PCI Runway 12-30 di Bandar Udara Budiarto bernilai sebesar 99.10 termasuk dalam kategori "baik", menunjukkan bahwa permukaan perkerasan runway masih dalam kondisi baik secara fungsional. Serta dalam salah satu faktor keselamatan dalam penerbangan

yaitu kondisi kekesatan dari suatu landas pacu. Semakin banyak pesawat yang beroperasi, maka semakin banyak juga lapisan karet (*rubber deposit*) pada landas pacu. Hal ini mengakibatkan landas pacu menjadi licin sehingga pesawat dapat tergelincir karena rem tidak dapat bekerja dengan efektif. Menghindari resiko kecelakaan yang terjadi, pengecekan kekesatan landas pacu secara berkala perlu dilakukan. Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk melakukan pengecekan kondisi kekesatan *runway* salah satunya menggunakan alat *MuMeter*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan berdasarkan Keputusan Pemerintah Nomor 94 tahun 2015 dalam mengklasifikasikan kerusakan dan kekesatan yang dialami pada landas pacu Bandar Udara Budiarto. dapat diperoleh Rekomendasi penanganan pada landas pacu Budiarto yaitu "Rehab Mayor (*overlay* atau metode sejenisnya)".

Kata Kunci: Perkerasan lentur, Evaluasi Perkerasaan, *Pavement Condition Index*, Kekesatan, *MuMeter*, Perbaikan Perkerasan *Runway*

A. Pendahuluan

Bandar Udara Budiarto memiliki *runway* dengan dimensi 1.800m x 45m dan perkerasan lentur dengan nilai Pavement Classification Number (PCN) 37 F/C/X/T, termasuk *taxiway* dan *apron*. Menurut KP 94 Tahun 2015, perkerasan lentur bersifat elastis, berbeda dengan perkerasan kaku yang menggunakan pelat beton sebagai elemen utama daya dukung. Saat ini, penerbangan merupakan cara bepergian yang populer dan umum digunakan di beberapa negara di dunia, baik negara maju maupun berkembang. Salah satu contohnya adalah pertumbuhan penduduk Indonesia yang semakin meningkat sehingga memerlukan relokasi penduduk Indonesia secara cepat. Untuk menunjang pergerakan yang cepat tersebut diperlukan transportasi. Transportasi udara merupakan salah satu moda transportasi yang saat ini dapat menunjang pergerakan yang cepat. Setiap bandara harus memiliki fasilitas utama dan tambahan untuk menjamin kelancaran operasional dan keselamatan penerbangan. Dalam operasional penerbangan, keselamatan merupakan suatu

keadaan dimana resiko kerugian dan kerusakan terbatas atau tidak ada sama sekali. Pengelolaan dan pemeliharaan sektor penerbangan di bandar udara merupakan aspek penting dalam menjaga keselamatan dan kelancaran operasional penerbangan. Elemen penting yang perlu dipertimbangkan adalah kekasaran landasan pacu, yang memainkan peran penting dalam mencegah kecelakaan dan memastikan lepas landas dan pendaratan yang aman. Dalam konteks ini, penilaian kekasaran lintasan sangatlah penting. Penilaian kekasaran lintasan dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode dan alat.

Alat yang biasa digunakan untuk tujuan ini adalah *MuMeter*. *MuMeter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur gesekan atau kekasaran pada permukaan lintasan. Dalam tulisan ini akan dipelajari hasil penyelesaian permasalahan terkait penilaian kekasaran *runway* menggunakan *MuMeter* di suatu bandara. *Runway excursion* adalah insiden keselamatan di bandara saat sebuah pesawat secara tidak sengaja keluar dari permukaan

landasan pacu (*runway*) saat lepas landas atau mendarat. Hal ini dapat dilakukan baik secara sengaja oleh pilot untuk menghindari objek atau benda di landasan, maupun secara tidak sengaja yang dapat mengakibatkan kematian atau kerusakan pada pesawat (ICAO, 2008). Sedangkan *runway incursion* adalah adanya benda asing di sekitar pesawat, kendaraan atau orang di area perlindungan permukaan yang dapat menyebabkan ancaman tabrakan atau mengurangi ruang gerak untuk lepas landas atau mendarat (ICAO Apparst/5).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pemeliharaan *runway* sebagai bagian dari upaya mendukung kelancaran operasional dan keselamatan penerbangan di Bandara Budiarto. Penilaian ini dilakukan oleh operator bandara dan mencakup pekerjaan pemeliharaan yang diperlukan di area landasan pacu dalam berbagai kondisi. Menurut Undang-Undang Penerbangan Nomor 1 Tahun 2019, bandar udara diartikan sebagai suatu kawasan di darat dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat lepas landas, mendarat, menaiki dan menurunkan penumpang dari pesawat udara, kargo, dan pembongkaran barang.

Kondisi zona penerbangan seperti area parkir dan penghubung serta landasan pacu sangat menentukan operasional bandar udara dan berperan penting dalam menunjang kegiatan operasional dan keamanan di bandar udara (Warsito, 2017). Fasilitas yang berperan penting dalam operasional bandar udara secara keseluruhan terletak di kawasan sisi udara, khususnya landasan pacu, suatu kawasan persegi di permukaan bandar udara

yang dirancang untuk lepas landas dan mendaratkan pesawat dengan aman dan efisien dalam berbagai kondisi.

(Sartono dkk., 2017). Landasan pacu (*runway*) merupakan fasilitas yang paling penting dalam operasional penerbangan dan mempunyai peranan yang sangat penting dalam bandar udara karena merupakan tempat dilakukannya kegiatan lepas landas dan pendaratan pesawat udara dan berkaitan langsung dengan faktor keselamatan yang menjadi aspek utama. setiap bandara mewakili operasi penerbangan. Keselamatan dan kelancaran lalu lintas udara merupakan komitmen bersama seluruh pelaku industri penerbangan. Hal ini diakui dalam Manual Manajemen Keselamatan (SMM) Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO).

Secara teoritis, struktur konstruksi landasan pacu (*runway*) dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni perkerasan aspal (*asphalt pavement*) dan perkerasan beton (*cement concrete pavement*), seperti dijelaskan oleh Palino and Susilo pada tahun 2021. Ketika meninjau cara tekanan didistribusikan ke subgrade (tanah pondasi), perkerasan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, dan batas antara perkerasan fleksibel dan perkerasan kaku dapat atau tidak melibatkan lapisan perantara, sesuai dengan kebutuhan dan kondisi spesifik konstruksi tersebut. Pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan oleh operator bandara merupakan langkah penting dalam memastikan kesiapan operasional fasilitas di bandara. Pemeliharaan ini harus dilakukan dalam jangka waktu

tertentu guna menjaga kesiapan operasional sistem. Ketersediaan operasional fasilitas tersebut berdampak langsung terhadap keselamatan dan kelancaran penerbangan. Pemeliharaan penerbangan terbagi menjadi dua jenis utama yaitu pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif (Pradnyandari & Purnawati, 2019). Tujuan pemeliharaan preventif adalah untuk mencegah kerusakan atau penurunan kinerja sistem. Termasuk memantau kondisi area pergerakan, menjaga jarak dari benda asing (FOD) untuk menghindari potensi bahaya, dan menghilangkan genangan air yang dapat membahayakan pesawat.

Sementara itu, pemeliharaan penanggulangan bertujuan untuk mengembalikan kondisi dan kapasitas fasilitas ke kondisi semula atau sesuai. Kegiatan ini meliputi perbaikan kerusakan permukaan, perbaikan retakan dan pelapisan (*layering*). Kerusakan yang dapat membahayakan operasional penerbangan antara lain retak, bocor, perubahan struktur permukaan. Kondisi landasan pacu yang baik dapat mengurangi risiko kecelakaan pesawat, sedangkan landasan pacu yang tidak cukup kasar dapat menimbulkan masalah yang serius. Oleh karena itu, penggunaan *MuMeter* sebagai alat penilaian menjadi semakin penting. Namun, sejumlah tantangan muncul saat menggunakan alat ini, termasuk masalah dalam pemeliharaan alat, interpretasi data, dan mengintegrasikan hasil penilaian ke

dalam kebijakan pemeliharaan bandara.

Fasilitas sisi udara bandar udara merupakan bagian dari bandar udara yang sebagian besar medannya diaspal dengan pesawat terbang. Uji anti slip adalah ketahanan terhadap gesekan antara roda pesawat dengan permukaan Landas Pacu infrastruktur penerbangan. Seiring dengan waktu, ketahanan infrastruktur penerbangan akan memburuk karena sejumlah faktor. Faktor utamanya adalah adanya gesekan antara ban pesawat dengan permukaan Landas Pacu baik pada saat pengereman maupun pada saat pesawat bergerak sehingga menyebabkan penumpukan kontaminan karet pada permukaan Landas Pacu. Cacat struktur pada permukaan Landas Pacu meliputi permasalahan lain seperti bekas roda, keretakan, retakan dan penurunan lokal dapat menyebabkan berkurangnya kekasaran, namun permasalahan utama yang sering terjadi adalah bekas karet yang timbul dari ban pesawat pada saat mendarat. Bekas lecet karet yang sering ditemukan di zona pendaratan berpotensi menutupi permukaan Landas Pacu dan mengakibatkan hilangnya kemampuan rem dan kendali arah pesawat, terutama dalam kondisi basah. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merinci hasil penyelesaian permasalahan terkait penilaian kekasaran *runway* menggunakan *MuMeter* di suatu bandar udara serta untuk menemukan solusi terhadap permasalahan teknis, manajerial dan kebijakan terkait penilaian kekasaran *runway*. Sedangkan, *Pavement Condition Index* (PCI) adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui index kondisi permukaan melalui survei yang dilakukan secara visual pada

permukaan perkerasan. Selain itu, agar dapat dapat memberikan masukan ke unit terkait untuk melakukan perbaikan jika diperlukan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif yang menekankan pada pemahaman masalah berdasarkan kondisi aktual pada bandar udara budiarto. Peneliti mengumpulkan data dari berbagai sumber sesuai dengan metode penelitian yang telah ditentukan. Proses pengumpulan data meliputi pengujian langsung dan observasi untuk memperoleh data aktual serta pengolahan data menggunakan metode *horaks and emery*. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merinci hasil penyelesaian permasalahan terkait penilaian kekasaran *runway* menggunakan *MuMeter* di suatu bandar udara serta untuk mencari solusi permasalahan teknis, manajerial dan kebijakan terkait penilaian kekasaran *runway*.

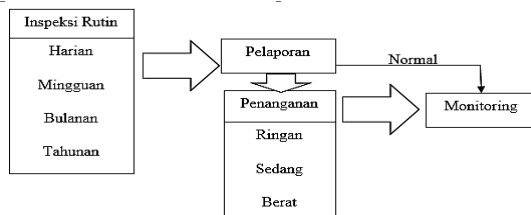
Penelitian ini menggunakan kombinasi metode pemeriksaan visual dan pengujian dengan *MuMeter* untuk mengevaluasi kondisi permukaan landas pacu di Bandar Udara Budiarto – Curug. Pemeriksaan visual dilakukan oleh tim inspeksi yang dipimpin supervisor peneliti, dengan mencatat kerusakan pada permukaan *runway* seperti retakan, deformasi, dan lubang. Hasil observasi digunakan untuk menghitung *Pavement Condition Index* (PCI) berdasarkan standar ASTM, PR 21 Tahun 2023, dan KP

94 Tahun 2015. PCI diperoleh dari analisis kuantitatif hasil survei, yang memberikan gambaran kondisi perkerasan dalam bentuk skor numerik. Semakin tinggi nilai PCI, semakin baik kondisi perkerasan.

Proses pengolahan data PCI mencakup identifikasi kerusakan visual di setiap segmen *runway* dan penghitungan skor keparahan, menghasilkan Sub-PCI yang kemudian diintegrasikan menjadi satu nilai PCI. Sementara itu, data kekesatan dari *MuMeter* dianalisis untuk menentukan parameter kekesatan sepanjang perkerasan untuk mengidentifikasi struktural yang memerlukan perbaikan. konsep utama terkait penilaian kekasaran landasan pacu dan penggunaan *MuMeter* pada Studi kasus ini bertujuan untuk memberikan informasi langsung mengenai penerapan *MuMeter* di berbagai bandara. Pendekatan pemecahan masalah mencakup langkah-langkah mengidentifikasi, menganalisis, dan merumuskan solusi terhadap masalah yang dihadapi..

Sebelum memasuki pembahasan hasil penelitian, pemahaman landasan teori yang melandasi evaluasi kekesatan *runway* dan penggunaan *MuMeter* menjadi penting. Prinsip-prinsip keselamatan penerbangan, faktor-faktor fisika yang mempengaruhi kekesatan, dan teknologi yang terlibat dalam *MuMeter* akan menjadi fokus dalam bagian ini. Landasan teori ini memberikan landasan yang kuat untuk

menjelaskan dan menganalisis hasil penelitian. Diagram alir di bawah ini menjelaskan serangkaian tindakan yang dilakukan dalam konteks pemeliharaan terkait dengan fasilitas sisi udara.



Kekesatan permukaan pada landas pacu adalah salah satu faktor penyebab kecelakaan pesawat udara, selain faktor kondisi kerusakan pada landasan pacu, lalu lintas, dan cuaca. Nilai kekesatan dapat berubah (Los n.d.), dikarenakan operasional pesawat setiap tahunnya meningkat, sehingga menyebabkan lapisan permukaan landasan lebih cepat mengalami aus (Rahimudin 2015). *Skid resistance* adalah kekuatan tahanan geser landas pacu saat menahan gaya gesek terhadap pesawat) (White and Rodway 2014). Kekesatan dapat dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan Landas Pacu dengan ban/roda pesawat (Fusion 2020).

Dalam pembahasan kali ini, pengujiannya dilakukan dengan menggunakan alat uji *MuMeter* yang mana pengujian kekesatan dilakukan dengan cara menderek (*towing*) alat *MuMeter* dengan mobil pada kecepatan tetap dengan disemprot air dalam keadaan basah, hal itu menstimulasikan kondisi *runway* sedang licin-licinnya (hujan) (Čelko and Kováč 2004). Alatnya terdiri dari satu roda penguji yang dapat berputar

(Liu, Fu, and Li 2022). Alat ini merekam untuk mencatat grafik kekesatan yang menerus dari seluruh panjang permukaan yang diuji, dan pada bagian tertentu didapat grafik yang bervariasi (Asi 2007). Jadwal untuk *survey* dan evaluasi kekesatan perkerasan sesuai peraturan dari tabel 1 tentang frekuensi survei dan pengecekan kekesatan pada Keputusan Pemerintah Nomor 94 tahun 2015.

Tabel 1 Frekuensi survei kekesatan (Sumber: KP 94 tahun 2015)

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

Mengacu pada *FAA AC 150/5320-12C Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces*, Kementerian Perhubungan merekomendasikan peralatan yang dapat digunakan untuk pengujian kekesatan.

Tabel 2 Nilai pengujian kekesatan (Sumber: KP 94 tahun 2015)

Jenis Alat Uji	65 km/h (40 mph)			95 km/h (60 mph)		
	Minimal	Perawatan	Konstruksi Baru	Minimal	Perawatan	Konstruksi Baru
mu(myu)- Meter	0.42	0.52	0.72	0.26	0.34	0.66
Dynatest Consulting, Inc. Runway Friction Tester	0.50	0.60	0.82	0.41	0.54	0.72
Airport Equipment Co. Skiddometer	0.50	0.60	0.82	0.34	0.47	0.74
Airport Surface Friction Tester	0.50	0.60	0.82	0.34	0.47	0.74
Airport Technology USA Safegate Friction Tester	0.43	0.60	0.82	0.34	0.47	0.74
Findlay, Irvine, Ltd. Griptester Friction Meter	0.48	0.53	0.74	0.24	0.36	0.64
Tatra Friction Tester	0.48	0.57	0.76	0.42	0.52	0.67
Norsemeter RUNAR (operated at fixed 16% slip)	0.45	0.52	0.69	0.32	0.42	0.63

Adapun data-data informasi pengujian yang diperlukan untuk pelaporan, yaitu (1) Lokasi bandar udara; (2) Waktu pelaksanaan pengukuran

dimasukkan ke sampel masing-masing. Berikut contoh layout kerusakan seluruh area *runway* 12-30 yang sudah dibagi per sampel. Selanjutnya Menentukan nilai *density* dari setiap kerusakan yang sudah dijumlahkan luas kerusakannya lalu dibagi dengan total luas area sample unit dan dikali 100%.

Setelah mendapatkan nilai *density* dari setiap jenis kerusakan pada setiap unit, selanjutnya menghitung nilai *Deduct Value* berdasarkan grafik penghubung antara *density* dan *Deduct Value*. Grafik *Deduct Value* di bawah ini mengacu pada UFC 3-260-16 tentang *Standard Practice for Airfield Pavement Condition Surveys*. Setelah mengetahui nilai *Deduct Value* yang akan digunakan, kemudian dijumlahkan per sampel untuk mendapatkan nilai *Total Deduct Value* (TDV).

Tabel 3 Total Deduct Value Seluruh Sampel

Sample	Distress Severity	Density (%)	DV	TDV
STA 0+040 - 0+050	8 M	0.48%	8	8
STA 0+280 - 0+290	12 M	17.8%	25	25
STA 0+320 - 0+330	10 M	0.04%	5	5
STA 0+420 - 0+430	12 M	12.4%	22	22
STA 0+740 - 0+750	12 M	1.34%	9	9
STA 0+840 - 0+850	12 M	0.44%	6	6
STA 0+860 - 0+870	12 M	0.22%	5	5
STA 0+880 - 0+890	12 M	0.22%	5	5
STA 1+080 - 1+090	12 M	0.66%	6	6
STA 1+420 - 1+430	1 M	0.22%	15	15
STA 1+480 - 1+490	5 M	0.02%	6	6
STA 1+540 - 1+550	12 M	0.22%	6	6
STA 1+620 - 1+630	12 M	1.34%	8	14
	2 M	0.34%	6	
STA 1+700 - 1+710	1 M	0.66%	25	55
	2 M	0.66%	25	
	5 M	0.1%	5	
STA 1+720 - 1+730	2 M	1.78%	10	30
	5 M	0.09%	5	
	12 M	4.00%	15	

Corrected Deduct Value (CDV) adalah nilai pengurang terkoreksi yang diperoleh dari kurva hubungan antara nilai pengurang total (TDV) dan nilai pengurang (DV) dengan menarik kurva yang sesuai. Total keseluruhan sampel

yang memiliki kerusakan ada 15 sampel, oleh karena itu akan ada 15 grafik yang akan di analisis. Nilai PCI merupakan kualitas dari lapisan perkerasan, dalam hal ini yaitu *runway* 12-30. Nilai PCI dapat diketahui dari nilai CDV yang telah dihitung dari perhitungan sebelumnya.

Tabel 4 Sampel Hasil Nilai PCI Runway 12-30 UPBU Budiarto

161	STA 1+600 - 1+610	-	0	0	0	100	Baik (Good)
162	STA 1+610 - 1+620	-	0	0	0	100	Baik (Good)
163	STA 1+620 - 1+630	12 m	8	6	6	94	Baik (Good)
164	STA 1+630 - 1+640	2 m	6	4	0	100	Baik (Good)
165	STA 1+640 - 1+650	-	0	0	0	100	Baik (Good)
166	STA 1+650 - 1+660	-	0	0	0	100	Baik (Good)
167	STA 1+660 - 1+670	-	0	0	0	100	Baik (Good)
168	STA 1+670 - 1+680	-	0	0	0	100	Baik (Good)
169	STA 1+680 - 1+690	-	0	0	0	100	Baik (Good)
170	STA 1+690 - 1+700	-	0	0	0	100	Baik (Good)
171	STA 1+700 - 1+710	1 m	25	32	32	68	Sedang (fair)
		2 m	25	21	0	0	
		5 m	5	0	0	0	
172	STA 1+710 - 1+720	-	0	0	0	100	Baik (Good)
173	STA 1+720 - 1+730	2 m	10	14	14	86	Baik (Good)
		5 m	5	8	0	0	
		12 m	15	8	0	0	
174	STA 1+730 - 1+740	-	0	0	0	100	Baik (Good)
175	STA 1+740 - 1+750	-	0	0	0	100	Baik (Good)
176	STA 1+750 - 1+760	-	0	0	0	100	Baik (Good)
177	STA 1+760 - 1+770	-	0	0	0	100	Baik (Good)
178	STA 1+770 - 1+780	-	0	0	0	100	Baik (Good)
179	STA 1+780 - 1+790	-	0	0	0	100	Baik (Good)
180	STA 1+790 - 1+800	-	0	0	0	100	Baik (Good)
NILAI RATA - RATA PCI = 99,1							Baik (Good)

2. Pengujian kekesatan Perkerasan Menggunakan *MuMeter*

Kemampuan permukaan konstruksi dalam memberikan gesekan/*resistance* yang cukup untuk mencegah selip. Faktor yang utama kekesatan landasan adalah terjadinya gesekan antara ban pesawat dengan permukaan perkerasan baik pada saat pengereman maupun pada saat pesawat berlandas pacu yang mengakibatkan terjadi akumulasi kontaminasi karet pada permukaan perkerasan. Pengaruh lainnya adalah kondisi cuaca, jenis perkerasan yang digunakan, bahan yang digunakan dalam konstruksi dan pemeliharaan landasan serta kegagalan struktur perkerasan seperti *rutting*, *raveling*, retak, penurunan setempat yang dapat menyebabkan berkurangnya tingkat kekesatan. Terdapat beberapa Faktor Penyebab Penuruna tingkat

kekesatan diantaranya *Rubber deposit* dan *Aquaplaning* atau *hydroplaning*.

Gaya tahanan pada perkerasan Landas Pacu, yang dikenal sebagai gesekan perkerasan, merujuk pada kekuatan yang menghentikan pergerakan relatif antara roda kendaraan dan permukaan Landas Pacu. Sumber gesekan ini dapat berasal dari putaran roda atau pergeseran yang terjadi di atas permukaan perkerasan (Hall, J., W., et al., 2009). Henry (2000) menjelaskan bahwa pada perkerasan basah, gesekan perkerasan basah, yang sering disebut sebagai tahanan gelincir, terjadi ketika ban kendaraan meluncur di atas permukaan yang basah. Dari perspektif perkerasan, terdapat dua parameter penting terkait *skid resistance*, seperti yang dijelaskan oleh Rahman (1998). Parameter tersebut melibatkan tekstur mikro dan makro permukaan Landas Pacu serta mempertimbangkan properti dari ban kendaraan, kecepatan kendaraan, dan kondisi cuaca. Semua elemen ini saling berinteraksi untuk menciptakan kondisi Landas Pacu yang memenuhi standar keamanan dan kenyamanan bagi pengguna Landas Pacu.

Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : KP 39 Tahun 2015 Tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil - Bagian 139 (*Manual of Standard CASR - Part 139*), Volume I Bandar Udara (Aerodrome) : 10.17.7. Tes gesekan

kondisi permukaan eksisting dilakukan secara berkala untuk menghindari penurunan dibawah tingkat minimum gesekan yang ditentukan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : KP 94 Tahun 2015 Tentang Pedoman Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139-23 (*Advisory Circular CASR Part 139-23*), Pedoman Program Pemeliharaan Konstruksi Perkerasan Bandar Udara (*Pavement Management System*), Kriteria Hasil Pengujian Kekesatan Permukaan Perkerasan, dapat dijelaskan pada tabel berikut ini :

Tabel 5 Kriteria Hasil Pengujian Kekesatan Permukaan Perkerasan

JENIS ALAT UKUR	65 km/h (40 mph)			95 km/h (60 mph)		
	Minimal	Perawatan	Konstruksi Baru	Minimal	Perawatan	Konstruksi Baru
Mu Meter	0,42	0,52	0,72	0,25	0,34	0,66
Dynatest Consulting, Inc. Runway Friction Tester	0,50	0,60	0,82	0,41	0,54	0,72
Airport Equipment Co. Skidometer	0,50	0,60	0,82	0,34	0,47	0,74
Airport Surface Friction Tester	0,50	0,60	0,82	0,34	0,47	0,74
Airport Technology USA SafeGate Friction Tester	0,43	0,60	0,82	0,34	0,47	0,74
Findlay, Irvine, Ltd GripTester Friction Meter	0,48	0,53	0,74	0,24	0,36	0,64
Tatra Friction Tester	0,48	0,57	0,76	0,42	0,52	0,67
Normmeter RUNAR (operated at fixed 16% slip)	0,45	0,52	0,69	0,32	0,42	0,63

Pemeliharaan *runway* melibatkan sejumlah kegiatan, seperti pembersihan *rubber deposit*, yang bertujuan untuk mengembalikan kekesatan *runway* ke tingkat yang diinginkan. Langkah-langkah pembersihan ini melibatkan penggunaan peralatan khusus dan bahan kimia yang aman untuk *runway*. Pemeliharaan preventif melibatkan pemantauan rutin dan intervensi yang diperlukan untuk mencegah terbentuknya *rubber deposit* yang dapat mengurangi kekesatan. Dalam mengatasi masalah pemeliharaan dan pembersihan *rubber deposit*, penting untuk merancang strategi yang

terintegrasi dan berkelanjutan. Langkah-langkah tersebut mencakup jadwal pembersihan rutin, pemilihan metode pembersihan yang efektif, dan pemantauan secara terus-menerus terhadap kondisi *runway*. Dengan mengidentifikasi area-area yang rentan terhadap *rubber deposit*, pemeliharaan dapat diarahkan secara spesifik dan efisien.

Optimalisasi pemeliharaan dan pembersihan *rubber deposit* pada *runway* memberikan sejumlah keuntungan yang signifikan. Pertama-tama, keselamatan penerbangan dapat ditingkatkan dengan menjaga kekesatan *runway* pada tingkat yang aman. Pemberian prioritas pada pemeliharaan juga dapat mengurangi risiko insiden pendaratan pesawat dan meningkatkan ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrim. Selain itu, efisiensi operasional bandar udara dapat ditingkatkan dengan meminimalkan dampak dari keterlambatan atau pembatalan penerbangan akibat kondisi *runway* yang buruk. Penumpang juga akan mengalami kenyamanan yang lebih baik dengan kepastian bahwa *runway* berada dalam kondisi yang optimal untuk proses lepas landas dan mendarat.

Pengujian *skid resistance* di landas pacu bandar udara menjadi aspek kritis dalam memastikan keamanan dan kinerja optimal pendaratan serta lepas landas pesawat. *Skid resistance*, atau tahanan gelincir, adalah parameter penting yang mencerminkan

kemampuan permukaan landas pacu untuk memberikan gesekan yang memadai antara roda pesawat dan permukaan landas pacu. Pengujian ini dilakukan secara rutin untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan penerbangan dan meminimalkan risiko insiden atau kecelakaan di bandar udara.

Pertama-tama, pengujian *skid resistance* di landas pacu melibatkan pemantauan kondisi permukaan jalan. Instrumen khusus yang disebut "*skid resistance tester*" digunakan untuk mengukur seberapa baik roda pesawat dapat mempertahankan traksi pada berbagai kondisi cuaca, termasuk saat permukaan landas pacu basah atau terkena salju. Pengukuran ini memberikan nilai *skid resistance*, yang dinyatakan sebagai koefisien gesekan antara roda pesawat dan permukaan landas pacu.

Landas pacu di bandar udara sering kali memiliki variasi permukaan, termasuk campuran aspal dan beton, serta teknologi khusus seperti permukaan poros (*porous friction course*) yang dirancang untuk meningkatkan *skid resistance*. Pengujian mencakup seluruh panjang landas pacu dan dapat dilakukan menggunakan metode dinamis dengan menggunakan pesawat khusus yang dilengkapi dengan roda uji atau dengan metode statis menggunakan perangkat pengukur khusus. Penting untuk mencatat bahwa *skid resistance* bukan hanya dipengaruhi oleh jenis permukaan landas pacu, tetapi juga

oleh faktor-faktor seperti tekanan ban pesawat, kecepatan pendaratan, dan kondisi cuaca. Oleh karena itu, pengujian *skid resistance* di landas pacu bandar udara mencakup berbagai variabel yang mempengaruhi kinerja keseluruhan.

Selain pengukuran langsung, perawatan preventif juga diperlukan untuk mempertahankan *skid resistance* yang optimal. Ini dapat mencakup tindakan seperti pemeliharaan rutin permukaan landas pacu, peningkatan atau perbaikan struktural, dan penggunaan bahan pelapis atau treatment permukaan khusus yang dirancang untuk meningkatkan tahanan gelincir. Keberhasilan pengujian *skid resistance* di landas pacu bandar udara tidak hanya bergantung pada metode yang digunakan, tetapi juga pada kepatuhan terhadap standar dan regulasi penerbangan. Standar tersebut diatur oleh badan penerbangan sipil setempat atau organisasi internasional seperti *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Penerapan prosedur yang konsisten dan akurat dalam pengujian *skid resistance* merupakan bagian integral dari upaya industri penerbangan untuk memastikan keselamatan penerbangan dan kenyamanan penumpang. Dengan demikian, landas pacu yang memiliki *skid resistance* yang optimal dapat memberikan kontribusi besar terhadap operasi penerbangan yang aman dan efisien di bandar udara.

Hasil dari pengujian kekesatan menggunakan alat *MuMeter* memerlukan beberapa data pendukung sebagai data informasi pengujian seperti:

- (1) Lokasi pengujian terletak di Bandar Udara Budiarto;
- (2) Waktu pelaksanaan pengukuran 25 September 2025
- (3) Landas pacu yang diukur, yaitu *Runway 30/12*;
- (4) Jarak jalur lintasan pengukuran terhadap as *runway*, yaitu: 3 left, 3 right;
- (5) Kecepatan pengukuran yang diterapkan 65 km/jam;
- (6) Kondisi permukaan perkerasan landas pacu kering; dan (7) Alat uji yang digunakan (*MuMeter*).

Setelah dilakukan pengujian kekesatan diperoleh hasil pengujian kekesatan sebagai berikut :

3. Rekomendasi Perawatan dari Hasil *MuMeter* dengan *Pavement Condition Index* (PCI)

Tabel 6 Tindak Lanjut Dari Hasil Pengujian Kekesatan

KP 94 TAHUN 2015	AC No: 150/5320-12C
Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka sama atau sedikit diatas nilai minimal dalam jarak 152 M, maka tidak diperlukan tindakan atau koreksi yang dilakukan	When the average <i>Mu</i> value on the wet runway pavement surface is less than the Maintenance Planning Friction Level but above the Minimum Friction Level for a distance of 500 feet (152 m), and the adjacent 500 foot (152 m) segments are at or above the Maintenance Planning Friction Level, no corrective action is required.
Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka sama atau kurang dari nilai minimal dalam jarak 305 M dari ambang landa pacu, maka diperlukan suatu tindakan koreksi untuk menganalisa penyebab penurunan kekesatan dan evaluasi tingkat kerusakan serta melakukan langkah yang tepat dalam perbaikannya.	When the averaged <i>Mu</i> value on the wet runway pavement surface is less than the Maintenance Planning Friction Level for a distance of 1000 feet (305 m) or more, the airport operator should conduct extensive evaluation into the cause(s) and extent of the friction deterioration and take appropriate corrective action.
Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka jauh dibawah nilai minimal pada jarak 152 meter, maka harus segera dilakukan tindakan korektif setelah menentukan sebab dari berkurangnya nilai kekesatan yang ada.	When the averaged <i>Mu</i> value on the wet pavement surface is below the Minimum Friction Level for a distance of 500 feet (152 m), and the adjacent 500 foot (152 m) segments are below the Maintenance Planning Friction Level, corrective action should be taken immediately after determining the cause(s) of the friction deterioration.
Untuk landas pacu (<i>runway</i>) yang baru dibangun dan melayani penerbangan pesawat turbo jet, nilai rata-rata tingkat kekesatan dalam kondisi basah dalam jarak 152 meter harus tidak kurang dari nilai konstruksi baru	For newly constructed runway pavement surfaces (that are either saw cut grooved or have a PFC overlay) serving turbojet aircraft operations, the averaged <i>Mu</i> value on the wet runway pavement surface for each 500 foot (152 m) segment should be no less than the New Design Construction Friction Level.

Dalam pengelolaan infrastruktur transportasi udara, khususnya pada fasilitas sisi udara terutama landasan pacu pemeliharaan perkerasan sangat penting untuk menjaga kelayakan operasional dan keselamatan penerbangan. Kondisi perkerasan yang baik tidak hanya memastikan kelancaran pergerakan pesawat,

tetapi juga meminimalkan risiko kerusakan dan kecelakaan yang disebabkan oleh perkerasan yang rusak atau aus. Oleh karena itu, pemantauan dan evaluasi berkala terhadap kondisi struktur perkerasan menjadi langkah kritis dalam manajemen fasilitas bandara. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mengevaluasi kondisi struktur perkerasan adalah pengujian *MuMeter*. *MuMeter* menilai kekesatan permukaan struktur perkerasan, sementara PCI lebih menekankan pada aspek visual dan fungsionalitas permukaan. Pemahaman yang mendalam mengenai hubungan antara keduanya dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi perkerasan, baik dari segi kekuatan struktural maupun kenyamanan fungsional.

Tabel 7 Rekomendasi Penanganan Kondisi Landas Pacu

No.	Pengujian <i>MuMeter</i>	<i>Pavement Condition Index</i> (PCI)	Rekomendasi Penanganan
1	Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka sama atau sedikit diatas nilai minimal dalam jarak 152 M, maka tidak diperlukan tindakan atau koreksi yang dilakukan	Good/ Satisfactory	Pemeliharaan Rutin
2	Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka sama atau kurang dari nilai minimal dalam jarak 305 M dari ambang landas pacu, maka diperlukan suatu tindakan koreksi untuk menganalisa penyebab penurunan kekesatan dan evaluasi tingkat kerusakan serta melakukan langkah yang tepat dalam perbaikannya	Good/ Satisfactory /Fair	Rehab Minor
4	Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka jauh dibawah nilai minimal pada jarak 152 meter, maka harus segera dilakukan tindakan korektif setelah menentukan sebab dari berkurangnya nilai kekesatan yang ada	Good/ Satisfactory /Fair /Poor	Rehab Mayor
5	Bila data pengujian kekesatan pada landas pacu yang basah didapat angka jauh dibawah nilai minimal pada jarak 152 meter, maka harus segera dilakukan tindakan korektif setelah menentukan sebab dari berkurangnya nilai kekesatan yang ada	Very Poor/Serious/ Failed	Rekonstruksi

Dengan menggabungkan hasil dari kedua metode ini, pengelola bandara dapat melakukan perencanaan perawatan dan perbaikan yang lebih tepat dan efisien. Misalnya, jika hasil pengujian *MuMeter* menunjukkan bahwa kekesatan perkerasan masih normal

tetapi hasil PCI menunjukkan adanya kerusakan permukaan, maka tindakan yang diperlukan mungkin hanya perbaikan permukaan. Sebaliknya, jika hasil *MuMeter* menunjukkan diluar batas atas dan batas bawah struktural tetapi PCI masih menunjukkan kondisi yang baik, perbaikan yang lebih mendalam pada lapisan permukaan mungkin diperlukan. Oleh karena itu, keterkaitan antara pengujian *MuMeter* dan survei PCI merupakan aspek penting dalam pengelolaan perkerasan fasilitas sisi udara, membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat untuk menjaga kualitas, daya tahan, dan keamanan perkerasan dalam jangka panjang. Berdasarkan uji pada bandar udara budiarto maka diperoleh hasil Rekomendasi Penanganan sebagai berikut :

Tabel 8 Rekomendasi Penanganan Kondisi Landas Pacu Hasil Pengujian *MuMeter* dan PCI

No.	Pengujian <i>MuMeter</i>	<i>Pavement Condition Index</i> (PCI)	Rekomendasi Penanganan
1	pengujian kekesatan menggunakan <i>MuMeter</i> pada landas pacu yang basah didapat angka jauh dibawah nilai minimal pada jarak 152 meter, maka harus segera dilakukan tindakan korektif setelah menentukan sebab dari berkurangnya nilai kekesatan yang ada	Good/ Satisfactory /Fair /Poor	Rehab Mayor

Pengujian *MuMeter* dan *Pavement Condition Index* (PCI) merupakan dua metode yang saling melengkapi dalam evaluasi perkerasan landas pacu, di mana *MuMeter* menilai kekesatan struktural

struktural perkerasan, sementara PCI menilai aspek fungsionalitas dan kondisi permukaan. Keterkaitan antara kedua metode ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kondisi perkerasan, memungkinkan pengelola bandara untuk merencanakan pemeliharaan dan perbaikan yang lebih tepat dan efisien, sehingga memastikan kualitas, daya tahan, dan keselamatan operasional perkerasan dalam jangka panjang. Dari data yang telah dipetakan dalam tabel hasil survei dan pengujian, beberapa titik di landas pacu Bandar Udara Budiarto menunjukkan kebutuhan akan penanganan perkerasan yang bervariasi. Dalam Keterkaitan hasil survey menggunakan metode *Pavement Condition Index* dan pengujian kekesatan yang telah dijelaskan dalam tabel diatas maka dari kondisi perkerasan tersebut bandar udara studi kasus yaitu Bandar Udara Budiarto memiliki rekomendasi penanganan perkerasan berupa Rehap Mayor (*overlay* atau metode sejenis) berdasarkan hasil pengujian dan nilai PCI yang diperoleh pada landas pacu Bandar Udara Budiarto – Curug.

E. Kesimpulan

Hasil penelitian yang didasarkan pada survei visual dan pengujian kekesatan menggunakan peralatan *MuMeter* menunjukkan kondisi landas pacu Bandar Udara Budiarto – Curug dalam kondisi yang perlu penangulangan atau perbaikan pada permukaan landas pacu. Evaluasi yang dilakukan menggunakan *Pavement Condition Index* (PCI) mengungkapkan bahwa nilai PCI rata-rata dari seluruh sampel *runway* 12-30 berada pada angka 99.1. Nilai ini, sesuai standar yang ditetapkan oleh ASTM, PR 21 Tahun 2023, dan KP 94 Tahun 2015, menempatkan kondisi perkerasan landas pacu dalam kategori "baik," mencerminkan bahwa secara visual, *runway* masih dalam kondisi yang optimal. Pengujian kekesatan dengan peralatan *MuMeter* dilakukan untuk menilai respons elastis perkerasan terhadap gesekan dengan kecepatan berdasarkan standar. Hasil pengujian ini memberikan gambaran kekesatan permukaan perkerasan yang mencakup lapisan *surface*. Analisa Kekesatan menggunakan *MuMeter* bertujuan mendapatkan nilai kekesatan aktual pada Bandar Udara Budiarto dengan berstandarkan

peraturan batas atas dan bawah tingkat kekesatan. Dari hasil analisis data PCI dan pengujian kekesatan menggunakan *MuMeter* rekomendasi perbaikan yang disusun meliputi Perbaikan Mayor. Rekomendasi ini didasarkan pada temuan bahwa meskipun kondisi perkerasan secara umum baik, terdapat titik-titik spesifik yang memerlukan perbaikan lebih intensif untuk memastikan kekesatan tetap terjaga dan mendukung operasional bandara yang aman dan berkelanjutan serta mencegah terjadinya *Runway excursion*. Pendekatan ini menegaskan pentingnya perencanaan pemeliharaan yang strategis dan berbasis data untuk menjaga kualitas infrastruktur perkerasan landas pacu dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M. J., & Thomas, R. A. (2013). A comparative study of *MuMeter* and friction tester data for *runway* friction evaluation. *Journal of Transportation Engineering*, 139(5), 549-557.
- Asi, Ibrahim M. 2007. "Evaluating *Skid resistance* of Different Asphalt Concrete Mixes." *Building and Environment* 42(1): 325–29.
- Brown, L. R., & Jones, P. H. (2014). *MuMeter*-based assessment of *runway* friction and its impact on aircraft braking performance. *Journal of Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 47-59.
- Bennett, Christopher R, Hernán De Solminihac, and Alondra Chamorro. 2006. "Data Collection Technologies for Road Management." *The World Bank, Washington, DC* (February): 1–8. www.road-management.info.
- Evans, H. L., & Turner, W. R. (2011). Assessment of *runway* friction using *MuMeter* and related safety implications. *Transportation Research Record*, 2256(1), 73-82.
- FAA. 1997. "Ac 150/5320-12C." *Techniques. Fusion, Multi-sensor Information*. 2020. "Estimation for *Runway* Friction Coefficient Based On."
- Kim, Sungjin et al. 2019. "UAS-Based Airport Maintenance Inspections: Lessons Learned from Pilot Study Implementation." *Computing in Civil Engineering 2019: Smart Cities, Sustainability, and Resilience* - *Selected Papers from the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019* (June): 382–89.
- Martin, G. R., & Smith, K. L. (2015). *Runway* friction evaluation using a continuous friction measuring device (CFMD) and *MuMeter*. *Journal of Transportation Engineering*, 141(2), 04014083.
- Harris, J. D., & Roberts, P. M. (2010). *MuMeter*-based assessment of *runway* friction and its relationship with aircraft braking action reports. *Journal of Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(2), 312-322.

- Liu, Xiaolan, Chuanwei Fu, and Shunqun Li. 2022. "Temperature and Settlement Characteristics of Graded Crushed-Rock Layer for Runway Engineering in Permafrost Regions." *PLoS ONE* 17(10 October): 1–25. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0274843>.
- Los, Unidad Metodología D E Conocimiento D E. "A DEEP NEURAL NETWORKS APPROACH FOR PIXEL-LEVEL RUNWAY PAVEMENT CRACK SEGMENTATION USING DRONE- CAPTURED IMAGES" 3.
- Johnson, M. S., & Anderson, P. L. (2018). *MuMeter* measurements for assessing runway safety and maintenance. *Transportation Research Record*, 2625(1), 48-57.
- Organization, International Civil Aviation. 2006. "Aerodrome Design Manual." Poerwanto, Eko, and Uyuunul Maudzoh. 2017. "Analisis Kecelakaan Penerbangan Di Indonesia Untuk Peningkatan Keselamatan Penerbangan." *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi* 8(2): 9.
- Indrawati. 2018. Metode Penelitian Kualitatif (Manajemen dan Bisnis Konvergensi Teknologi Informasi dan Komunikasi). PT Refika Aditama, Bandung.
- Kurniawan. 2019. Metode Riset Bisnis. Bandung: CV Alfabeta.
- Miro, Fidel. 2012. Pengantar Sistem Transportasi. PT Erlangga, Jakarta.
- Palino, Silvani Desy, & Susilo, Budi Hartanto. 2021. Analisis Tebal Perkerasan Dan Biaya Dengan Software Faarfield Pada Landas Pacu BIJB Kertajati. *Jurnal Teknik Sipil* 17(1):14–29. doi: 10.28932/jts.v17i1.2382.
- Pradnyandari, Tri Satya, and Ni Ketut Purnawati. 2015. Peran Maintenance Dalam Memoderasi Pengaruh Scheduling Terhadap Kinerja Maskapai Penerbangan. *Jurnal Transportasi* 15(2):143–50.
- Rahimudin. 2015. "Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Pesawat Udara Komersil Di Indonesia Pada Tahun 2002 Sampai Dengan Tahun 2012." *Jurnal Manajemen Dirgantara* 8: 82–83. <https://jurnal.sttkd.ac.id/index.php/jmd/iss ue/view/13>.
- Smith, J. A., & Brown, R. T. (2020). Runway friction evaluation using a *MuMeter*: A review of methods and findings. *Journal of Airport Engineering*, 26(4), 350-361.
- Williams, D. L., & Clark, E. R. (2017). Evaluating runway friction conditions with a *MuMeter*: Case studies from multiple airports. *Transportation Research Record*, 2602(1), 25-34.
- White, A. B., & Taylor, S. P. (2016). *MuMeter*-based assessment of runway friction and its implications for aircraft operations. *Journal of Aircraft*, 53(2), 467-478.
- White, Greg, and Bruce Rodway. 2014. "Distress and Maintenance of Grooved Runway Surfaces." *Conference: Airfield Engineering and Maintenance Summit* (July). <https://www.researchgate.net/publication/279450519>.