

**ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER*
RUNWAY PADA BANDAR UDARA HUSEIN
SASTRANEGARA - BANDUNG**

TUGAS AKHIR

Oleh :

IMAM ALHAQU

NIT. 56192010009



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN POLITEKNIK
PENERBANGAN PALEMBANG
JULI 2024**

**ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER*
RUNWAY PADA BANDAR UDARA HUSEIN
SASTRANEGARA - BANDUNG**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan

Program Studi Sarjana Terapan

Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Oleh :

IMAM ALHAQU

NIT. 56192010009



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN POLITEKNIK
PENERBANGAN PALEMBANG
JULI 2024**

ABSTRAK

ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER* *RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA - BANDUNG

Oleh :

IMAM ALHAQU

NIT : 56192010009

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN

Bandar Udara Husein Sastranegara-Bandung (IATA: BDO, ICAO:WICC) merupakan sebuah Bandar Udara yang terletak di jalan Pajajaran Nomor, 156, Kelurahan Husein Sastranegara, Kecamatan Cicendo, Kota Bandung. Bandara ini memiliki dimensi *runway* 2220 m x 45 m dengan tipe perkerasan lentur yang mampu menahan pesawat terkritis yang beroperasi yaitu B 737-800. *Runway* pada Bandar Udara Husein Sastranegara-Bandung tidak memiliki *shoulder* yang sesuai dengan PR 21 TAHUN 2023 dan KP 39 TAHUN 2015 berupa lapisan perkerasan. Penelitian ini bertujuan menganalisis perhitungan *paved shoulder runway* di mulai dengan pengumpulan data lalu lintas penerbangan, data CBR tanah dan data *Exsisting* bandara serta pesawat terbesar di bandara tersebut. Penelitian ini berjenis kuantitatif yang bersifat deskriptif dengan Metode perhitungan menggunakan aplikasi FAARFIELD, pengolahan data dilakukan dengan perhitungan tebal perkerasan *shoulder runway* berdasarkan pesawat terkritis, menggunakan perangkat lunak FAARFIELD 4.2 v 1.42 dan COMFAA yang merupakan salah satu aplikasi perhitungan yang di keluarkan oleh FAA selaku lembaga penerbangan sipil Amerika. Berdasarkan perhitungan, didapatkan hasil 777,9 mm atau 77,79 cm untuk total tebal perkerasan *paved shoulder runway* dengan tebal lapisan permukaan sebesar 226,6 mm, lapisan pondasi atas 150 mm dan lapisan pondasi bawah 401,3 mm dengan lebar 7,5 m pada sisi kiri dan kanan yang dimana mampu menahan beban pesawat terkritis dengan nilai PCN sebesar 57 F/C/X/T, sehingga dengan hasil perhitungan ini dapat dijadikan sebagai solusi penting bagi pihak bandara dalam perencanaan dan desain konstruksi perkerasan untuk area *shoulder runway*. Penerapan spesifikasi ini akan memastikan bahwa struktur perkerasan memenuhi standar yang diperlukan untuk kapasitas beban dan daya tahan, sehingga meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional secara keseluruhan di sisi *airside*.

Kata Kunci : *FAARFIELD, COMFAA, FAA, Paved Shoulder Runway*

ABSTRACT

ANALYSIS OF PAVED SHOULDER CALCULATION FOR THE RUNWAY AT HUSEIN SASTRANEGARA AIRPORT IN BANDUNG

By :

IMAM ALHAQU

NIT : 56192010009

Airport Engineering Technology Studies Program

Applied Bachelor's Program

Husein Sastranegara Airport-Bandung (IATA: BDO, ICAO: WICC) is an airport located at Jalan Pajajaran No. 156, Husein Sastranegara Sub-district, Cicendo District, Bandung City. The airport has a runway dimension of 2220 m x 45 m with a flexible pavement type capable of accommodating the critical aircraft operating there, which is the B737-800. The runway at Husein Sastranegara Airport-Bandung does not have shoulders that comply with PR 21 of 2023 and KP 39 of 2015, which require paved layers. This study aims to analyze the calculation of the paved shoulder runway, starting with the collection of flight traffic data, soil CBR data, and existing airport data, as well as the largest aircraft operating at the airport. This is a descriptive quantitative study, with the calculation method using the FAARFIELD application. Data processing was carried out by calculating the thickness of the shoulder runway pavement based on the critical aircraft, using the software FAARFIELD 4.2 v 1.42 and COMFAA, which are calculation applications provided by the FAA, the civil aviation authority of the United States. Based on the calculations, the total thickness of the paved shoulder runway is 777.9 mm or 77.79 cm, with a surface layer thickness of 226.6 mm, an upper base layer of 150 mm, and a lower base layer of 401.3 mm, with a width of 7.5 m on the left and right sides. This configuration is capable of withstanding the load of the critical aircraft with a PCN value of 57 F/C/X/T. Thus, these calculation results can serve as an important solution for the airport authorities in the planning and design of pavement construction for the shoulder runway area. Implementing these specifications will ensure that the pavement structure meets the required standards for load capacity and durability, thereby enhancing overall safety and operational efficiency on the airside.

Keyword : FAARFIELD, COMFAA, FAA, Paved Shoulder Runway

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir: “ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA-BANDUNG” telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus Pendidikan Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan ke-1, Politeknik Penerbangan Palembang.



NAMA : IMAM ALHAQU

NIT : 56192010009

PEMBIMBING I

FAISAL REZA, S.T., M. Sc.

Pembina (IV/a)

NIP. 19841019 200912 1 003

PEMBIMBING II

SUTIYO, S.Sos., M.Si

Pembina (IV/a)

NIP. 1968101 1199112 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: “ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA-BANDUNG telah dipertahankan di hadapan tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Politeknik Penerbangan Palembang. Tugas akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Sarjana Terapan pada tanggal 25 Juli 2024.

KETUA



ANTON ABDULLAH, S.T.,M.M.

Pembina (IV/a)

NIP.19781025 200003 1 001

SEKRETARIS



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

Penata (III/c)

NIP. 19831213 201012 2 003

ANGGOTA



SUTIYO, S.Sos., M.Si

Pembina (IV/a)

NIP. 1968101 1199112 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Imam Alhaqu

Nit : 56192010009

Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul “ ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA - BANDUNG “ merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiatisme.

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

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

Palembang, 25 Juli 2024

Penulis



IMAM ALHAQU

NIT. 56192010009

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir Program Studi Sarjana Terapan yang tidak di publikasi 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 :

ALHAQU, IMAM. (2024): ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA BANDUNG, Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan, Politeknik Penerbangan Palembang.

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

Dipersembahkan kepada
Ayahanda Isrok dan ibunda Nurul Aini
Beserta seluruh keluarga saya

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala, karena berkat Rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik, yang berjudul “ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA-BANDUNG. Penulisan ini bertujuan untuk melaksanakan kurikulum Pendidikan dan untuk memenuhi salah satu syarat lulus Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan di Politeknik Penerbangan Palembang.

Dalam berlangsungnya proses pengambilan dan penyusunan data hingga sampai pada tahap penyelesaian laporan Tugas Akhir di Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung, tentu tak lepas dari bantuan serta bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kehidupan, kelancaran, kesehatan, serta rezeki yang begitu melimpah.
2. Teristimewa kepada kedua Orang Tua saya yang selalu memberikan nasihat, doa dan dukungan berupa moril maupun materil demi kelancaran dalam pelaksanaan Tugas Akhir maupun kegiatan belajar mengajar dalam menempuh pendidikan.
3. Bapak Sukahir, S.Si.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Palembang.
4. Bapak M. Indra Martadinata, S.ST., M.Si. selaku Kaprodi D-IV TRBU.
5. Bapak Faisal Reza, S.T., M. Sc dan Sutiyo, S.Sos., M.Si selaku Pembimbing 1 dan Pembimbing 2.
6. Bapak R Indra Crisna selaku Executive General Manager Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung .
7. Bapak Rudiansyah SN, ST, MM. selaku Manager of Airport Maintenance Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung.

8. Ibu Nurni Pebriani, ST. selaku Assistant Manager of Terminal & General Building Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung.
9. Bapak Didiet Rivaldy, A.Md. selaku Supervisor Terminal & General Building Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung.
10. Bapak Rd Denny Juanda Wiria Soekarya, ST. selaku Supervisor Airside Infrastructure & Accessibility Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung.
11. Bapak Arifin Wijayanto, ST. selaku Supervisor On The Job Training Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung.
12. Senior LMP, Senior AMC dan Rekan-rekan TRBU 1 Alpha.
13. Terimakasih juga kepada semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulisan laporan Tugas Akhir.

Penulis juga menyadari bahwasannya dalam melakukan pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan baik, masih banyak terdapat kekurangan dalam penyelesaiannya. Akan tetapi penulis akan berusaha memaksimalkan laporan ini sehingga bermanfaat bagi banyak pihak. Atas segala kesalahan dan kata-kata yang kurang berkenan, kami memohon maaf. Saran dan kritik membangun kami harapkan demi karya yang lebih baik di masa mendatang.

Palembang, 25 Juli 2024

Penulis,



IMAM ALHAQU

NIT. 56192010009

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	v
PENGESAHAN PENGUJI.....	vi
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	vii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan	4
D. Manfaat	4
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Teori Pendukung	6
B. Kajian Relevan	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
A. Jenis Penelitian.....	23
B. Kerangka Penelitian	23
C. Objek Penelitian	24
D. Teknik Pengumpulan Data.....	24
E. Teknik Analisis data.....	25
F. Tempat dan Waktu Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
A. Hasil Penelitian	28
B. Pembahasan.....	35

1. Perhitungan Tebal Perkerasan.....	35
2. Perhitungan ACN dan PCN	39
3. Desain Dimensi ukuran perkerasan.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 FAARFIELD Default Value	17
Tabel III. 1 Jadwal Penelitian.....	27
Tabel IV. 1 Data Penerbangan tahun 2023	28
Tabel IV. 2 Data Bandara.....	31
Tabel IV. 3 Tipe Roda Pesawat.....	32
Tabel IV. 4 Data MTOW Pesawat	34
Tabel IV. 5 Hasil Tebal Perkerasan	39
Tabel IV. 6 Total Tebal Perkerasan	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Halaman Awal	17
Gambar II. 2 Halaman awal COMFAA	20
Gambar II. 3 Halaman Awal COMFAA support spreadsheet	20
Gambar III. 1 Kerangka Penelitian	23
Gambar III. 2 Terminal Bandara	26
Gambar IV. 1 Bagan Prosedur Penggunaan FAARFIELD	35
Gambar IV. 2 Tahap 1	36
Gambar IV. 3 Tahap 2	36
Gambar IV. 4 Tahap 3	37
Gambar IV. 5 Tahap 4	37
Gambar IV. 6 Hasil running aplikasi	38
Gambar IV. 7 Hasil Tebal Perkerasan	38
Gambar IV. 8 Hasil Nilai Evaluation Thickness	40
Gambar IV. 9 Langkah 1	40
Gambar IV. 10 Langkah 2	41
Gambar IV. 11 Langkah 3	41
Gambar IV. 12 Hasil PCN dan ACN	42
Gambar IV. 13 Tampak Atas Perkerasan Paved Shoulder Runway	43
Gambar IV. 14 Tampak Melintang Paved Shoulder Runway	44
Gambar IV. 15 Potongan Tampak Samping STA 0 – 10	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Tepi Runway dan rumput	50
Lampiran B Kondisi Lapangan	50
Lampiran C Pesawat mengalami <i>Runway Excursion</i>	51
Lampiran D Tipe C-17	51
Lampiran E Cek plagiatisme.....	52
Lampiran F Data Bandara	52
Lampiran G Data Exsisting Bandara.....	53
Lampiran H Lembar Bimbingan	54

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengguna transportasi udara di Indonesia telah mengalami peningkatan yang signifikan pasca pulihnya dunia dari wabah yang melanda beberapa tahun terakhir, dengan kenaikan pengguna tersebut maka keselamatan di sektor penerbangan juga harus ikut di tingkatkan. Keselamatan adalah kunci utama dalam industri penerbangan karna bisnis penerbangan ialah bisnis keselamatan yang telah menjadi pusat perhatian bagi seluruh pihak seperti pemerintah kita selaku regulator, maskapai sebagai *eksekutor* dan *stakeholder* terkait lainnya. Seiring dengan meningkatnya *traffic* penerbangan dan perkembangan pada industrinya saat ini, tentunya tuntutan akan pentingnya peningkatan keselamatan juga semakin meningkat. Peran transportasi udara sebagai unsur penunjang yang efektif dan efisien sangat membantu dalam perkembangan sektor lain. Berbagai pihak telah berkontribusi guna meningkatkan keselamatan penerbangan yang sesuai dengan visi kementerian perhubungan yaitu 3S + 1C, dimulai dari regulasi yang ketat, advokasi keselamatan, peningkatan teknologi, serta sistem pemeriksaan keselamatan.

Keselamatan penerbangan di Indonesia saat ini telah menjadi prioritas utama demi majunya dunia penerbangan, menurut data KNKT pada tahun 2023 terdapat 31 kecelakaan di dunia penerbangan yang dimana meningkat dari tahun sebelumnya yaitu 2021 dan 2022 (KNKT, 2024). Data Bps juga menunjukkan bahwa jumlah pengguna transportasi udara tahun 2023 meningkat sebesar 20,66 persen untuk penerbangan domestik dan 135,11 persen untuk penerbangan internasional (Bps, 2024). Dalam menghadapi pertumbuhan tersebut peningkatan keselamatan penerbangan menjadi prioritas utama karna peningkatan tersebut merupakan bagian dari budaya keselamatan atau *safety culture* yang merupakan salah satu strategis ICAO dalam mewujudkan keselamatan penerbangan (Purba, 2017). Bandar Udara Husein Sastranegara- Bandung (IATA: BDO, ICAO: WICC) merupakan sebuah bandar udara yang terletak di jalan Pajajaran Nomor 156,

Kelurahan Husein Sastranegara, Kecamatan Cicendo, Kota Bandung. Landas pacu bandar udara Husein Sastranegara-Bandung memiliki Panjang 2220 M x 45 M dengan tipe perkerasan *flexible pavement* , 4 *taxiway* yaitu Alpha, Bravo Charlie dan Delta yang dimana A dan B hanya digunakan untuk fasilitas militer sedangkan C dan D digunakan untuk penerbangan sipil dan juga memiliki apron yang terdiri dari 8 parkir stand, 1-3 menggunakan perkerasan lentur/asphalt dan 4-8 menggunakan perkerasan kaku/*concrete* (Angkasa Pura, 2022).

Menurut KP 39 Tahun 2015 Bahu landasan pacu atau *shoulder runway* merupakan kawasan atau *area* yang berlokasi pada sisi *airside* bandar udara dan berbatasan langsung dengan *runway*, yang berguna sebagai jalur *ground vehicle* atau *access road* guna melakukan pemeliharaan dan situasi darurat. Perencanaan suatu kawasan bandar udara memiliki tahapan yang baik khususnya pada sisi udara seperti landas pacu, landas hubung, tempat parkir pesawat yang sudah sesuai standar ukuran dan dimensinya, penyebaran beban pada perkerasan menjadi sangat penting yang dimana semakin berat kekuatan tanah maka semakin tebal juga perkerasan yang dibutuhkan karna tanah dasar memiliki peranan untuk mendukungnya (Junianti, 2016). Bandar udara Husein Sastranegara-Bandung memiliki beberapa fasilitas bangunan dan landasan yang cukup lengkap. Setiap hari para teknisi maupun taruna yang sedang melakukan *on the job training* melakukan inspeksi dan perawatan terhadap fasilitas maupun peralatan unit bangunan dan landasan.

Bandar Udara Husein Sastranegara saat ini melayani rute penerbangan pesawat Susi Air dengan rute halim-Bandung begitupun sebaliknya dan Bandung-Pangandaran begitu juga sebaliknya sedangkan penerbangan lain yaitu pesawat militer, private jet dan pesawat yang sedang melakukan *maintenance*. Berdasarkan hasil observasi dan pengamatan di lapangan secara langsung bandar udara ini tidak memiliki *shoulder runway* yang disebabkan karna bandar udara ini merupakan peninggalan belanda yang sudah berdiri sejak tahun 1900 awalan yang dimana dari awal didirikan memang di desain khusus untuk pesawat militer pada zamannya, sehingga proses pembangunannya bertahap dan menyesuaikan kondisi di lapangan. Kondisi *runway* bandar udara Husein Sastranegara-Bandung saat ini tidak memiliki bahu landasan pacu yang dimana menimbulkan latar belakang

masalah, menurut PR 21 Tahun 2023 dan KP 39 Tahun 2015 menjelaskan bahwa jika sebuah bahu *runway* memiliki peran untuk mendukung operasi pesawat terbang yang keluar *runway* atau terjadi *accident* sehingga tidak terdapat kerusakan pada struktur pesawat dan mempermudah akses kendaraan yang beroperasi, Berdasarkan fakta di lapangan menunjukkan bahwa tepi *runway* pada bandara ini berbatasan langsung dengan lapisan permukaan tanah dan rumput yang berada di pinggirnya, sehingga menyebabkan FOD atau benda terlarang seperti batu kerikil, hewan dan rumput dapat masuk secara langsung ke landasan pacu dan dapat menyebabkan operasional penerbangan terganggu, yang dimana menurut data KNKT penyebab kecelakaan di sisi *airside* 40 persen berasal dari *runway excursion* yang terjadi karna menghindari objek atau FOD yang berakibat fatal (Saputra, 2017). Tidak adanya *paved shoulder* pada *runway*, membuat para teknisi kesulitan dalam melakukan pemeliharaan yang dimana berdasarkan fakta dilapangan terdapat lampu *edge light* pada pinggir *runway* tepatnya pada permukaan tanah dan rumput sehingga ketinggian dari rumput itu sendiri dapat menutupi lampu *edge light* tersebut.

Runway excursion merupakan sebuah kejadian yang melibatkan sebuah pesawat terbang yang mengalami kejadian keluar dari landasan pacu baik di akhir, awal, kiri dan kanan yang diakibatkan kesalahan pilot dan cuaca buruk atau kerusakan pesawat (Riandi, 2022). Berdasarkan data BNPB menunjukkan bahwa Jawa Barat menduduki posisi ke 2 sebagai provinsi dengan kejadian cuaca ekstrem terbanyak selama 2014-2023, fakta di lapangan pada tahun 2019 terjadi *runway excursion* pada bandara ini, sehingga dengan adanya *paved shoulder runway* ini menjadi solusi secara tidak langsung pada pesawat agar tetap berada di *runway* dan apabila terjadi *runway excursion* dapat mengurangi tingkat kerusakan pada pesawat juga, dengan adanya *paved shoulder* ini juga sebagai penahan semburan/erosi *jet blast* pesawat.

Solusi dan upaya yang dilakukan pihak bandara untuk mengatasi masalah diatas hanya bersifat sementara dan tidak memiliki jangka panjang hanya sebatas pembersihan FOD, pemotongan rumput dan pemeliharaan di sisi *airside*. Maka berdasarkan peraturan yang ada dan beberapa latar belakang yang telah di sampaikan penulis pada bagian atas. Penulis tertarik untuk mengangkat topik yang

berjudul “**ANALISIS PERHITUNGAN *PAVED SHOULDER RUNWAY* PADA BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA-BANDUNG**”.

Sehingga dengan adanya perhitungan *paved shoulder runway* di bandar udara ini dapat dijadikan sebagai pedoman atau acuan bagi pihak bandara untuk melakukan perencanaan *shoulder runway* yang sesuai dengan aturan pemerintah guna mengatasi dan menjadi solusi yang efektif untuk semua masalah yang terjadi di lapangan selama ini.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, diperoleh rumusan masalah yaitu bagaimana menganalisis perhitungan tebal perkerasan *paved shoulder runway* di Bandar Udara Husein Sastranegara - Bandung?

C. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, diperoleh tujuan penelitian untuk menganalisis perhitungan tebal perkerasan *paved shoulder runway* di Bandar Udara Husein Sastranegara - Bandung.

D. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengoptimalkan keselamatan penerbangan yang sesuai dengan slogan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara 3 S + 1 C.
2. Meningkatkan keselamatan dan keamanan penerbangan pada sisi airside di Bandar Udara Husein Sastranegara-Bandung.
3. Sebagai salah satu sarana bagi penulis untuk memberikan sumbangan pengetahuan, serta menambah keilmuan yang berkaitan dengan perancangan tebal konstruksi perkerasan *paved shoulder runway*.

E. Batasan Masalah

Dalam konteks judul "Analisis Perhitungan *Paved Shoulder Runway* Bandar Udara Husein Sastranegara-Bandung Batasan Masalah Agar perancangan pembahasan dalam tugas akhir ini tidak terlalu luas dan keluar dari topik yang telah ditentukan maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Perhitungan tebal perkerasan menggunakan perangkat lunak FAARFIELD v 1.42.
2. Perhitungan mengenai *Paved Shoulder* membahas tentang cara menghitung tebal konstruksi perkerasan, jenis perkerasan, kekuatan perkerasan atau nilai ACN-PCN dan desain *Paved Shoulder* pada Bandar udara Husein Sastranegara-Bandung.
3. Perhitungan tebal konstruksi perkerasan hanya pada titik *Shoulder Runway*.

F. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini diuraikan dalam beberapa bagian antara lain :

1. Bab 1 Pendahuluan
Pendahuluan berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah yang terjadi di lapangan, tujuan dari penelitian, batasan masalah, manfaat serta sistematika penulisan.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka
Pada bagian bab tinjauan pustaka akan jelaskan landasan teori yang akan dibuat sebagai pedoman dalam pengolahan dan perhitungan data yang terkait dengan topik penelitian.
3. Bab 3 Metodologi Penelitian
Metodologi penelitian menjelaskan prosedur penelitian tugas akhir untuk merencanakan tebal perkerasan *paved shoulder runway*. Prosedur penelitian dilaksanakan untuk mencapai tujuan yang diinginkan di Bab 1 akan di lampirkan pada Bab 3. Bagan alir penelitian, metode pengumpulan data serta perencanaan.
4. Bab 4 Hasil dan Pembahasan
Perhitungan tebal perkerasan *paved shoulder runway* menggunakan *software* FAARFIELD dan COMFAA untuk nilai ACN – PCN sehingga mendapatkan hasil desain dimensi.
5. Bab 5 Kesimpulan
Penutup menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran dari perencanaan tebal perkerasan *paved shoulder runway*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Pendukung

1. Bandar Udara

Menurut buku yang ditulis Wardhani Sartono (2016), mengenai bandar udara bahwa Bandar Udara adalah fasilitas transportasi yang luas dan komprehensif, didesain untuk mengakomodasi operasi pesawat, pengangkutan penumpang, kargo, dan kendaraan lainnya. Bandar Udara terletak di area daratan atau perairan dengan batas-batas tertentu yang ditetapkan, dimana pesawat udara dapat mendarat dan lepas landas, serta berfungsi sebagai tempat untuk kegiatan naik turun penumpang dan pengangkutan barang. Ini juga berperan sebagai pusat perpindahan antar moda transportasi, dilengkapi dengan fasilitas keamanan dan keselamatan penerbangan, serta berbagai fasilitas dasar dan pendukung lainnya.

2. Landas Pacu (*Runway*)

Berdasarkan Peraturan Kementerian Perhubungan PR 21 Tahun 2023 tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 Vol. I Bandar Udara, serta Peraturan KP 39 Tahun 2015 tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, bagian fasilitas sisi udara menyatakan bahwa landas pacu adalah daerah persegi yang ditetapkan di sebuah bandar udara yang digunakan untuk pendaratan atau lepas landas pesawat. Definisi ini menekankan pentingnya landas pacu sebagai komponen kritis dari infrastruktur bandar udara, yang harus memenuhi standar teknis dan operasional tertentu untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasional. Landas pacu harus dirancang dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti dimensi, material konstruksi, dan sistem drainase untuk mendukung operasional pesawat dengan aman. Pemeliharaan rutin dan kepatuhan terhadap regulasi ini adalah kunci dalam mengurangi risiko kecelakaan dan memastikan bahwa fasilitas bandara dapat mendukung pendaratan dan lepas landas pesawat dengan berbagai ukuran dan tipe.

Bahu landas pacu disebut sebagai *runway shoulder*, adalah area di sepanjang tepi landasan pacu yang dirancang untuk memudahkan transisi antara landasan pacu dan permukaan tanah di sekitarnya. Bahu landas pacu ini berfungsi untuk memberikan dukungan struktural tambahan bagi pesawat yang mungkin menyimpang dari landasan utama saat pendaratan atau lepas landas, serta untuk melindungi landasan dari erosi dan kerusakan yang disebabkan oleh aliran air. Bahu ini biasanya dilapisi dengan material tahan lama seperti aspal, beton, atau bitumen untuk menahan beban berat pesawat dan mengurangi risiko genangan air. Pemeliharaan yang baik terhadap bahu landas pacu sangat penting untuk mencegah kerusakan pada struktur landasan pacu dan memastikan keselamatan operasional pesawat. Dengan kemiringan melintang yang tidak melebihi 2,5%, bahu landas pacu dirancang untuk mengalirkan air secara efektif, sehingga mengurangi risiko *aquaplaning* dan mengurangi resiko kecelakaan untuk pesawat yang beroperasi di bandara (Bethary, 2016).

Menurut Peraturan Kementerian Perhubungan, KP 39 Tahun 2015 *runway strip* adalah *area* yang telah ditetapkan yang terdiri dari landasan pacu dan *stopway* jika ada, dengan tujuan dan fungsi untuk mengurangi kemungkinan kerusakan pada pesawat saat melintasi batas landasan pacu dan melindungi pesawat yang sedang lepas landas atau mendarat di atasnya. *Runway Strip* dirancang untuk memberikan perlindungan tambahan dan meminimalkan risiko kecelakaan dengan memastikan bahwa pesawat yang keluar dari landasan pacu tidak mengalami kerusakan signifikan. Selain itu, Area Keselamatan Terakhir Landasan Pacu (RESA) adalah area simetris yang berhubungan dengan akhir jalur utama di ujung sumbu landasan pacu. Tujuan RESA adalah untuk mengurangi risiko kerusakan dan menurunkan kecepatan pesawat saat melewati batas landasan pacu, baik melebihi atau kurang dari titik yang diharapkan, sehingga meningkatkan keselamatan penerbangan. Di bandar udara, tempat yang berdekatan dengan landasan pacu dan digunakan untuk melakukan manuver putaran penuh 180 derajat di atas landasan pacu disebut *Runway Turn Pad*. *Runway Turn Pad* ini dirancang untuk memungkinkan pesawat melakukan putaran penuh dengan aman dan efisien, sehingga mendukung kelancaran operasional di bandara. Pemahaman dan

implementasi yang tepat dari elemen-elemen ini sangat penting untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasional di bandar udara (Asih, 2024).

3. Karakteristik Bahu Runway

Menurut PR 21 Tahun 2023 bahu harus memiliki lebar yang sama di kedua sisinya, miring ke arah bawah dan menjauh dari permukaan landasan pacu, tahan terhadap erosi akibat semburan mesin pesawat udara. Konstruksinya harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu mendukung pesawat yang berjalan di atas landasan pacu tanpa menyebabkan kerusakan struktural pada pesawat. Permukaannya harus datar atau sejajar dengan permukaan landasan pacu, kecuali selama proses percepatan landasan pacu yang memungkinkan penurunan permukaan hingga maksimal 50 mm.

4. Kemiringan dan Permukaan Bahu Runway

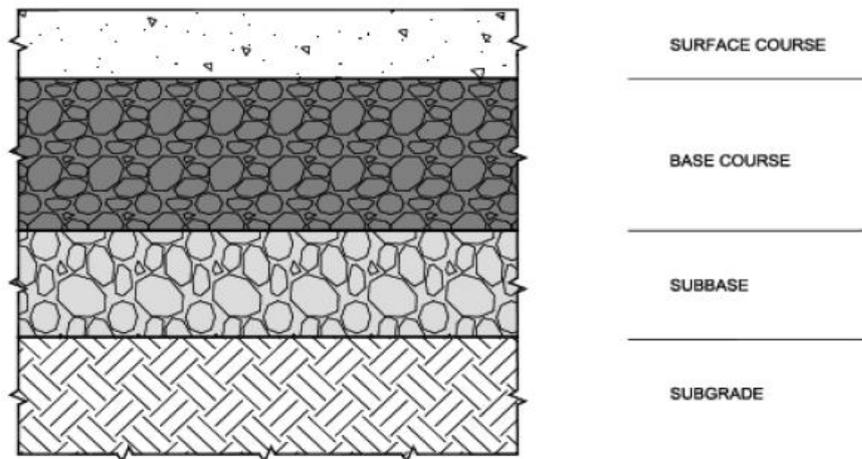
Pada landasan pacu yang melayani pesawat jet berbadan lebar seperti Boeing 747-800 dan Airbus A380, atau pesawat lain dengan mesin yang menggantung di sisi landasan, bahu landasan pacu harus dilapisi dengan material pelindung seperti bitumen, aspal, atau beton. Lapisan ini diperlukan untuk memastikan stabilitas dan ketahanan terhadap beban berat serta intensitas penggunaan yang tinggi. Kemiringan melintang (*transverse slope*) pada bahu landasan pacu harus dijaga agar tidak melebihi 2,5% untuk mencegah penumpukan air yang dapat menyebabkan genangan, mengurangi traksi, dan meningkatkan risiko aquaplaning. Standar ini penting untuk memastikan keamanan operasional dan meminimalkan kerusakan structural pada pesawat akibat permukaan landasan yang tidak sesuai spesifikasi. Pemeliharaan dan pengawasan rutin terhadap kondisi bahu landasan pacu adalah kunci dalam menjaga keselamatan penerbangan, terutama bagi pesawat berbadan lebar dengan mesin yang terletak di dekat atau menggantung di sisi landasan pacu.

5. Perkerasan

Perkerasan adalah struktur berlapis yang terdiri dari beberapa lapisan dengan berbagai kapasitas dukungan, perkerasan dirancang untuk memastikan bahwa permukaannya tetap halus dan aman dalam kondisi cuaca, sementara setiap lapisannya juga harus cukup tebal untuk menjamin beban dari pesawat terbang yang melintas tidak merusak lapisan di bawahnya. Untuk itu merencanakan sebuah konstruksi perkerasan haruslah di bantu oleh tanah dasar yang kuat dan mampu. Kekuatan tanah dasar biasanya di istilahkan dengan CBR (*California Bearing Ratio*). Perkerasan di buat sehingga menghasilkan surface yang halus dan safety terhadap apapun, hingga tiap *layer* atau lapisannya memiliki kekuatan untuk menjamin pesawat yang beroperasi di atasnya (Rezky, 2016).

Guna merencanakan tebal perkerasan di suatu bandar udara, perencanaan perkerasan *flexible* atau lentur, nilai suatu CBR yang dimiliki tanah dasarnya tidak boleh kurang dari 3% sedangkan untuk perkerasan kaku atau *rigid* tidak boleh kurang dari 13,5 MN/m³. Apabila salah satu daya dukung tanah di atas tidak terpenuhi, maka perlu di lakukan distabilisasi hingga dengan kondisi atau keadaan yang diinginkan. Menurut Aturan AC No 1505320-6F yang dikeluarkan oleh FAA Jenis perkerasan terdiri dari 2 tipe yaitu perkerasan lentur atau *flexible* dan perkerasan kaku atau *rigid*.

a) Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)



Gambar 2. 1 Struktur Perkerasan Lentur

Sumber : AC No: 150/5320-6F

Perkerasan lentur merupakan sebuah perkerasan yang memiliki sifat elastis atau lentur dengan maksud adalah perkerasan akan mudah berubah saat diberi pembebanan yang berlebih (Asih, 2024). Menurut KP 93 Tahun 2015 Berikut struktur lapisan perkerasan lentur :

Tanah Dasar (*Subgrade*) adalah lapisan tanah asli yang terletak di bawah lapisan pondasi bawah (*subbase*) yang memiliki berfungsi sebagai dasar penyangga bagi seluruh struktur perkerasan di atasnya. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*) merupakan lapisan pondasi yang berada antara *subgrade* dan lapisan pondasi atas (*base course*) yang berperan sebagai distribusi beban dari lapisan atas ke lapisan tanah dasar. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*) adalah bagian dari struktur perkerasan yang berada antara *subbase* dan lapisan permukaan (*surface*) yang dirancang untuk menahan gaya akibat beban roda dan mendistribusikannya ke lapisan bawah. Lapisan Permukaan (*Surface*) adalah lapisan teratas dari struktur perkerasan, berfungsi sebagai penahan beban langsung dari kendaraan serta memiliki stabilitas yang tinggi untuk memastikan performa optimal selama masa pelayanan. Setiap lapisan memiliki fungsi spesifik dalam mendukung kekuatan dan durabilitas keseluruhan struktur perkerasan, sehingga pemahaman yang mendalam tentang masing-masing lapisan dan interaksinya sangat penting untuk

desain dan konstruksi jalan yang tahan lama dan efisien. Kelebihan perkerasan lentur (*flexible pavement*) meliputi kemudahan dalam perencanaan dan desain, yang memungkinkan penerapannya untuk berbagai tingkat volume lalu lintas pesawat udara yang diklasifikasikan berdasarkan jenisnya.

Perkerasan lentur tidak memerlukan sambungan selama proses konstruksi, sehingga mengurangi potensi titik lemah yang dapat menyebabkan keretakan dan kerusakan dini. Selain itu, penentuan ketebalan perkerasan lentur relatif lebih mudah dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya, karena metode perhitungan dan material yang digunakan sudah terstandarisasi dengan baik. Fleksibilitas material dalam perkerasan lentur memungkinkan penyesuaian dengan berbagai kondisi tanah dan iklim, serta memudahkan perbaikan dan pemeliharaan dengan biaya yang lebih rendah. Hal ini menjadikan perkerasan lentur sebagai pilihan yang efisien dan efektif untuk berbagai aplikasi infrastruktur transportasi udara.

6. Material Perkerasan

a) Lapisan Permukaan

Lapisan permukaan ini menggunakan campuran P-401 HMA (*Hot Mix Asphalt*) yang terdiri dari beberapa jenis agregat mineral dan aspal yang dicampur dalam sebuah alat. Pada saat proses pencampuran, harus dilakukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Material yang digunakan dalam proses pencampuran ini meliputi agregat, mineral, dan aspal (Efendy, 2019), Lapisan ini terdiri dari dua lapisan utama: lapisan aus (*wearing course*) dan lapisan pengikat (*binder course*). Lapisan Laston atau aspal beton yang terletak di antara lapis pondasi atas dan lapis aus disebut AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*). Lapisan ini terdiri dari agregat yang dirapatkan secara terus menerus (Ismadarni & Risman, 2014).

b) Lapisan Pondasi Atas

Lapisan Pondasi adalah lapisan yang terdiri dari beberapa material, termasuk semen Portland dan bahan pengikat. Komponen terkait, persiapan, dan material dasar yang digunakan untuk menampung beban yang lebih dari 30.000 lbs (13.608 kg) (Sari, 2019). Contoh material yang digunakan untuk lapisan pondasi termasuk: Item P-209 (*Crushed Aggregate Base Course*), Item P-211 (*Lime Rock Base Course*), Item P-304 (*Cement Treated Base Course*), dan Item P-306

(*Econocrete Subbase Course*). Jenis P-209, yang dirancang khusus untuk menahan beban kotor sebanyak 100.000 lbs.

c) Lapis Pondasi Bawah

Lapis pondasi ini terdiri dari campuran batu pecah. Spesifikasi material untuk perencanaan lapis pondasi bawah didesain untuk menahan beban rencana sebanyak 30.000 lbs (13.608 kg). Berikut adalah beberapa contoh material yang digunakan: P-154 (*Subbase Course*), P-208 (*Aggregate Base Course*), P-210 (*Caliche Base Course*), P-212 (*Shell Base Course*), P-213 (*Sand Clay Base Course*), dan P-301 (*Soil Cement Base Course*).

d) Tanah Dasar

Tanah dasar adalah permukaan tanah yang menjadi dasar untuk konstruksi perkerasan jalan. Fungsi utamanya adalah mendukung konstruksi perkerasan di atasnya dan menahan beban lalu lintas.

7. Agregat

Agregat merupakan material seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi, yang digunakan bersamaan dengan suatu media pengikatnya dengan tujuan menciptakan sebuah semen hidrolis. Agregat berasal dari SDA (sumber daya alam) yang telah di olah dimensinya secara alamiah melalui tahapan pelapukan dan aberasi yang berlangsung lama atau agregat bisa didapatkan dengan memecah batuan induk yang ukuran lebih besar, dalam struktur perkerasan agregat ialah komponen utamanya (Permatasari, 2019). Lapisan yang digunakan pada tanah dasar biasanya berupa galian atau timbunan, lapisan permukaan biasanya menggunakan bahan *mix* aspal dan agregat dengan tujuan menghasilkan permukaan yang halus dan rata demi kenyamanan pengguna, lapisan pondasi atas biasa menggunakan material kasar dan bahan pengikat/bahan penguat sedangkan lapisan pondasi bawah terdiri dari material seperti batu-batuan yang di olah terlebih dahulu namun tetap menggunakan sirtu pada tahap awalnya (Rezky, 2016).

Agregat adalah butiran mineral yang memiliki fungsi sebagai bahan pengisi dalam suatu campuran mortar atau beton, Secara umum agregat terbagi berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan halus yang memiliki perbedaan klasifikasi lolos pada saringan no. 4 atau ukuran 4,75 mm. Agregat yang memiliki dimensi

lebih kecil 40 mm biasanya di gunakan pada campuran beton sedangkan angregat dengan ukuran lebih besar 40 mm digunakan untuk kontruksi sipil lainnya (Dumyati, 2015). Menurut(SNI S-04-1989-F) agregat yang memenuhi persyaratan, berikut:

a) Agregat Kasar

Agregat kasar dalam konteks teknis konstruksi beton didefinisikan sebagai material yang tidak melewati saringan no. 4 atau memiliki ukuran maksimum 4,75 mm. Untuk memenuhi standar kualitas yang diperlukan, agregat kasar harus memenuhi sejumlah persyaratan ketat, Pertama butir-butirnya harus memiliki sifat yang tajam dan keras dengan nilai indeks kekerasan kurang dari 2,2, yang esensial untuk memberikan kekuatan struktural yang optimal pada beton yang dihasilkan. Selanjutnya, agregat harus tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem seperti terik matahari dan hujan. Hal ini diuji dengan menggunakan larutan garam natrium sulfat, di mana kerusakan maksimum yang diizinkan adalah 12%, dan larutan garam magnesium sulfat dengan kerusakan maksimum 18%.

Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur, yaitu butiran halus yang bisa melewati ayakan dengan ukuran 0,06 mm, lebih dari 5%. Pengujian terhadap kandungan zat organik dilakukan dengan menggunakan larutan 3% NaOH, di mana warna cairan di atas endapan agregat kasar tidak boleh lebih gelap dari standar gradasi yang ditetapkan. Modulus halus butir agregat kasar juga harus berada dalam rentang 5 hingga 8, dengan variasi butir yang sesuai dengan standar gradasi yang telah ditetapkan.terakhir, untuk aplikasi beton yang memerlukan tingkat keawetan tinggi, seperti konstruksi jembatan atau bangunan yang terpapar alkali, penting bahwa agregat kasar tidak relatif terhadap alkali. Pemenuhan semua persyaratan ini secara konsisten mendukung kekuatan, keawetan, dan performa beton yang optimal dalam berbagai kondisi lingkungan dan aplikasi konstruksi.

b) Agregat Halus

Agregat halus adalah komponen krusial dalam campuran beton, yang didefinisikan oleh ukurannya yang lolos saringan no. 4 atau lebih kecil. Agregat ini harus memenuhi sejumlah kriteria teknis yang ketat untuk memastikan kualitas

dan keandalannya dalam aplikasi konstruksi. Pertama, butiran-butirannya harus keras dan tidak berpori, yang penting untuk mendukung kekuatan struktural beton yang dihasilkan. Selanjutnya, agregat halus harus tahan terhadap cuaca ekstrem seperti terik matahari dan hujan. Ini diuji dengan menggunakan larutan garam natrium sulfat, di mana kerusakan maksimum yang diperbolehkan adalah 12%, dan dengan larutan garam magnesium sulfat, maksimum 18%.

Agar tidak mengganggu performa beton, agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, yang dapat mempengaruhi sifat ikatan dan kekuatan beton. Agregat ini juga harus bebas dari zat-zat yang reaktif terhadap alkali, yang dapat menyebabkan degradasi beton. Proporsi butiran yang pipih dan panjang juga harus dijaga agar tidak melebihi 20%, untuk memastikan distribusi yang konsisten dalam campuran beton. Modulus halus butir agregat halus harus berada dalam rentang 1,5 hingga 3,8 dengan variasi butir yang sesuai dengan standar gradasi yang telah ditetapkan.

Pentingnya juga bahwa ukuran maksimum butir agregat halus tidak boleh melebihi persyaratan tertentu, seperti tidak lebih dari $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, atau $3/4$ jarak bersih antar tulangan. Agregat halus yang berasal dari laut dapat digunakan dalam konstruksi beton, namun harus mematuhi petunjuk dari lembaga pemeriksaan yang diakui untuk memastikan bahwa kualitasnya tetap terjamin dan tidak merusak performa beton secara keseluruhan. Dengan memenuhi semua persyaratan ini, agregat halus dapat berkontribusi secara signifikan dalam mencapai kekuatan, keawetan, dan kinerja optimal beton dalam berbagai proyek konstruksi (Dumyati, 2015).

8. Aspal

Aspal merupakan bahan perekat yang berasal dari alam yaitu minyak bumi dan juga hasil pengolahan. Aspal dapat diartikan sebagai bahan pengikat yang memiliki unsur bitumen di dalamnya yang di hasilkan residu minyak bumi dan juga aspal memiliki bentuk yang berbeda menyesuaikan dengan temperatur suhu yang ada, Selain itu ada beberapa aspal yang berasal dari bahan seperti mineral namun yang biasa di gunakan yaitu yang berasal dari minyak bumi (Efendy, 2019). Berbagai jenis aspal dalam campuran agregat dibedakan berdasarkan nilai

penetrasi mereka, yang mempengaruhi performa dan adaptabilitasnya dalam berbagai kondisi lingkungan. Aspal dengan penetrasi rendah 40/55 direkomendasikan untuk daerah dengan volume lalu lintas tinggi dan iklim yang panas, di mana kebutuhan akan ketahanan terhadap deformasi plastis sangat penting. Untuk kondisi dengan volume lalu lintas sedang dan cuaca panas, aspal dengan penetrasi rendah 60/70 menjadi pilihan yang tepat, menawarkan keseimbangan yang baik antara kekekatannya dan fleksibilitasnya.

Daerah dengan volume lalu lintas sedang atau rendah serta cuaca dingin, aspal dengan penetrasi tinggi 80/100 lebih sesuai karena mampu mempertahankan sifat elastisitasnya pada suhu rendah. Sementara itu, aspal dengan penetrasi tinggi 100/110 dianjurkan untuk kondisi dengan volume lalu lintas sedang atau rendah dan cuaca dingin yang ekstrem, di mana perlindungan terhadap keretakan akibat pembekuan dan pelelehan menjadi prioritas utama. Dengan memilih jenis aspal yang sesuai dengan kondisi lingkungan yang spesifik, dapat dipastikan bahwa campuran agregat akan memberikan kinerja optimal dalam menjaga integritas struktural jalan dan ketahanannya terhadap beban lalu lintas serta perubahan cuaca.

9. Karakteristik Pesawat Udara

Sebelum melaksanakan perencanaan sebuah bandar udara lengkap dengan fasilitasnya, pada dasarnya di butuhkan tentang spesifikasi dari pesawat udara secara umum untuk merencanakan prasarannya. Jika perkerasan dilalui oleh berbagai tipe pesawat udara dengan jumlah keberangkatan tahunan tertentu, perencanaan perkerasan harus berdasarkan atas pesawat udara rencana yang akan masuk kebandara tersebut, seperti halnya dalam bentuk karakteristik pesawat rencana kritis yang berpengaruh langsung terhadap penentuan tebal perkerasan yang nantinya akan dilalui oleh pesawat kritis, kondisi tanah dasar yang nantinya akan mempengaruhi jenis kontruksi yang akan digunakan dan juga *traffic* yang akan beroperasi di bandara itu.

10. Rencana Tebal Perkerasan *Paved Shoulder*

a) Perhitungan Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan terdiri dari beberapa metode yaitu metode yang di keluarkan oleh ICAO, CBR dan FAA, yang dimana menurut ketentuan ICAO terdiri dari 2 cara yaitu metode grafis dan metode analitis yang memiliki perbedaan pada tahapan pengolahan data untuk metode analitis harus terdapat perkerasan existing terlebih dahulu sedangkan FAA terdapat 2 metode yaitu grafis dan *software* FAARFIELD, namun pada penelitian ini menggunakan metode *software* FAARFIELD.

Perhitungan tebal perkerasan menggunakan perangkat lunak FAARFIELD yang berpedoman pada Advisory Circular AC 150/5320-6F, *Airport Pavement Design and Evaluation*, yang dikeluarkan pada tahun 2016 sebagai pembaruan dari AC 150/5320-6E pada tahun 2009. AC 150/5320-6F menggunakan data dari uji skala penuh sehingga program FAARFIELD terus dikembangkan hingga versi 1.42 saat ini. FAARFIELD adalah perangkat lunak yang dibuat oleh FAA untuk merencanakan tebal perkerasan, yang menerapkan *prosedur layer-elastic* dan *finite element* untuk merencanakan perkerasan baru dan *overlay* pada perkerasan *rigid* dan *flexible*.

Metode yang dikembangkan oleh FAA ini mendesain berdasarkan CBR subgrade, *Layering system (maintenance)* dan pesawat udara. *Design lifetime* pada perhitungan FAARFIELD sesuai standart peraturan di *design lifetime* dan menghitung *Cumulatif Damaged Factor* pada suatu perkerasan. Pada perencanaan *flexible pavement*, FAARFIELD menggunakan regangan vertikal maksimum pada bagian atas tanah dasar dan regangan horizontal maksimum dibawah lapisan permukaan aspal sebagai *design lifetime* struktur perkerasan (FAA, 2016). Pada perencanaan *rigid pavement*, FAARFIELD menggunakan tegangan Horizontal maksimum dibawah slab beton sebagai prediksi *design life* struktur perkerasan, tegangan horizontal maksimum ditentukan menggunakan pembebanan.



Gambar II. 1 Halaman Awal

Sumber : (FAARFIELD 1.42)

b) FAARFIELD Default Value

Tabel II. 1 FAARFIELD Default Value

Layer	Item	Modulus (psi)	Poisson's ratio
AC Surface	P-401 atau P-403	200.000	0.35
CTB Surface	P304	500.000	0.20
Aggregate	P208	43042	0.3
Subbase			
CTB (max)	P306	700.000	0.20
CTB (min)	P301	250.000	0.20

(Sumber : FAA)

c) Keberangkatan Tahunan Pesawat

Perhitungan annual departure pada metode FAARFIELD dilakukan secara kumulatif berbeda dengan cara manual yang menjadikan equivalent annual departure (Rezky, 2016), jumlah keberangkatan tahunan dihitung dengan cara :

$$n = \left(1 + \frac{b.L}{200} \right) \dots\dots\dots$$

N = total Jumlah Keberangkatan

L = Umur rencana perkerasan

a = angka keberangkatan tiap tahun

b = pertumbuhan lalu lintas (%)

d) *Cumulative Damage Factor*

Nilai CDF merupakan nilai yang menunjukkan kelelahan pada struktur perkerasan dikarenakan lama masa operasionalnya, dengan rumus:

$$\text{CDF} = \frac{(\text{annual departure}) \times (\text{life in year})}{\left(\frac{\text{Pass}}{\text{Coverage Ratio}}\right)^{(\text{coverage to failure})}}$$

$$\text{CDF} = \frac{\text{Pergerakan beban yang terjadi}}{\text{Pergerakan beban yang menyebabkan kerusakan}} \times C$$

Jika CDF (*Cumulative Damage Factor*) sama dengan 1, maka perkerasan tersebut dapat melayani selama masa umur rencana hingga terjadi kerusakan. Jika CDF kurang dari 1, maka perkerasan masih memiliki umur meskipun masa rencana telah di lampau. Jika CDF lebih dari 1, maka perkerasan akan mengalami kerusakan sebelum masa rencana berakhir (Rezky, 2016).

$$C = \left(\frac{0.004}{E_v}\right)^{8.1} \quad \text{untuk } c \leq 12100$$

$$C = \left(\frac{0.002428}{E_v}\right)^{14.21} \quad \text{untuk } c \geq 12100$$

C = Total pergerakan yang menyebabkan kegagalan

E_v = Regangan vertikal pada bagian atas lapisan tanah dasar

Hubungan antara c dan E_v ditunjukkan dengan persamaan

$$\log(c) = 2,68 - 5 \times \log(E_h) - 2,665 \times \log(E_a)$$

c = jumlah pergerakan yang menyebabkan kegagalan

E_a = modulus aspal

H = regangan horizontal yg terjadi dibawah lapisan aspal

11. Perhitungan Nilai Daya Dukung PCN dan ACN

Menurut Peraturan KP 93 Tahun 2015, perhitungan nilai ACN-PCN adalah suatu metode yang telah ditetapkan oleh Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO) untuk melakukan penilaian atau rating terhadap kinerja dan kekuatan perkerasan bandar udara. Metode ini dirancang secara ilmiah untuk mengevaluasi kemampuan perkerasan dalam menanggung beban dinamis dari pesawat yang lewat, serta untuk mengestimasi potensi kerusakan struktural yang dapat terjadi akibat operasi pesawat tersebut.

Peraturan ini mengadopsi metode yang tercantum dalam FAA AC 150/5335-5C sebagai dasar regulasi. Program COMFAA merupakan sebuah aplikasi komputer yang dirancang khusus untuk melakukan perhitungan PCN (*Pavement Classification Number*) serta perencanaan perkerasan bandar udara. Program ini didasarkan pada konsep *Cumulative Damage Factor* (CDF), di mana evaluasi melibatkan perhitungan dampak gabungan dari berbagai jenis pesawat yang beroperasi di bandar udara, termasuk analisis terhadap lalu lintas yang mencakup pesawat dengan dampak kritis. Pendekatan ini memungkinkan pengelola bandar udara untuk mengukur dan memperkirakan pengaruh terhadap kekuatan dan ketahanan perkerasan terhadap berbagai jenis operasi penerbangan. (Istiar, 2021). Dengan memasukkan data tersebut, perhitungan PCN dapat mencakup dampak dari semua lalu lintas pesawat udara secara proporsional. Setelah mendapatkan tebal perkerasan dari program FAARFIELD, nilai PCN dan ACN dihitung menggunakan program COMFAA. ACN adalah nilai yang menunjukkan performa pesawat di atas perkerasan, dan berikut adalah perhitungan PCN secara klasik (Kementrian Perhubungan, 2015) :

Jika :

X : nilai PCN yang akan di hitung

X1 : ACN minimum

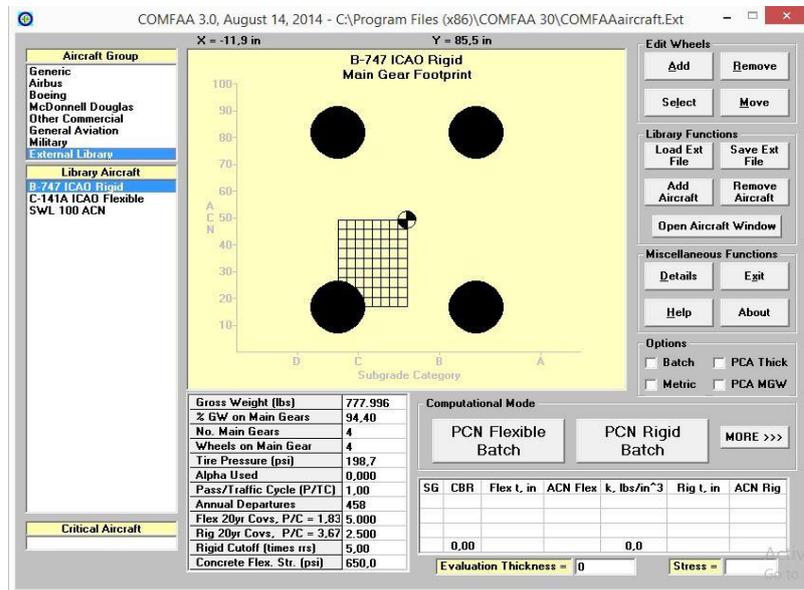
X2 : ACN maksimum

Y : beban ijin perkerasan (P)

Y1 : beban minimum pesawat (P min)

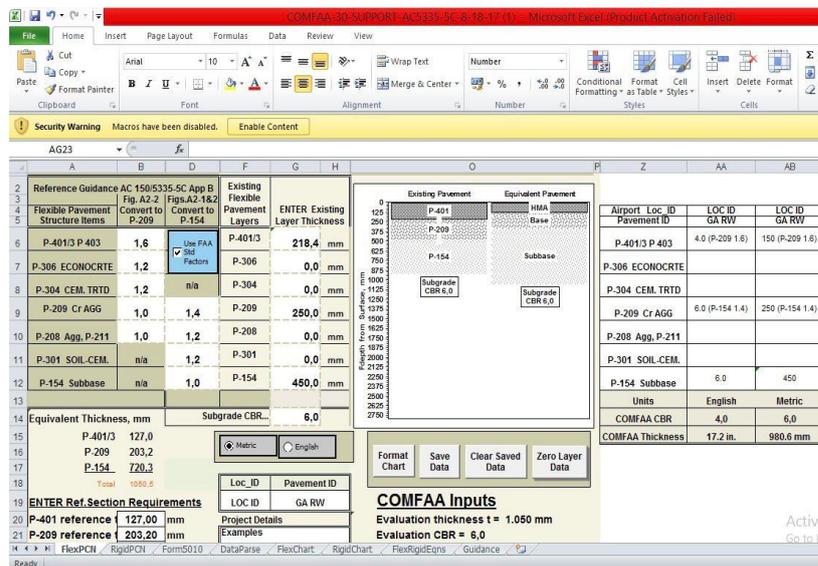
Y2 : beban maksimum (P maks)

$$PCN = ACN \text{ min} + (ACN \text{ maks} - ACN \text{ min}) \frac{p - p \text{ min}}{p \text{ maks} - p \text{ min}}$$



Gambar II. 2 Halaman awal COMFAA

Sumber : (COMFAA 3.0)



Gambar II. 3 Halaman Awal COMFAA support spreadsheet

Sumber : (COMFAA Support Spreadsheet)

12. Nilai CBR Tanah

Nilai CBR merupakan nilai daya dukung tanah dasar atau yang biasa disebut subgrade yang dimana ditentukan dengan tes dilapangan, nilai berbentuk persen sehingga semakin tinggi nilai CBR tanah maka semakin bagus juga keadaan tanah tersebut begitu juga kebalikannya, apabila nilai CBR tanah sangat kecil maka dilakukan peningkatan yaitu dengan cara pemadatan dan pemberian serbuk besi atau kapur sehingga nilai mengalami peningkatan (Riza, 2020).

B. Kajian Relevan

Dalam penyusunan pengembangan media pembelajaran ini, penulis menggunakan beberapa jurnal penelitian terdahulu untuk dijadikan sumber pedoman. Kajian penelitian terdahulu ini menjadi salah satu panduan penulis dalam melakukan penelitian, sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Berikut adalah rangkuman dari hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti dalam bidang perencanaan dan analisis perkerasan bandar udara:

1. Alim, Muhammad Zahirul, Nurani dalam penelitiannya merancang *paved shoulder* untuk landasan pacu di Bandar Udara Internasional Juwata, Tarakan. Mereka menemukan bahwa bandar udara tersebut tidak memiliki *shoulder runway*, sehingga mereka melakukan perencanaan dengan hasil 51,5 cm PCN 66 F/X/T dari metode manual dan 54,5 cm PCN 86/F/C/X/T dari metode FAA.
2. Pribadi Asih, Nicky melakukan studi perencanaan pelapisan ulang menggunakan perkerasan lentur di turn pad Bandara Internasional Husein Sastranegara, Bandung. Mereka merekomendasikan *overlay* ulang pada *turn pad* 11 dan 29 dengan tebal perkerasan masing-masing 5,1 cm dan 5,8 cm menggunakan metode FAA.
3. Istiar dan S. Aziz melakukan analisis kekuatan perkerasan landasan pacu di Bandar Udara Juanda menggunakan metode FAA dan *software* COMFAA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkerasan *runway* selama 1100 m masih mampu menahan beban pesawat terbang, kecuali pada titik 6,9 dan 10.
4. Yuliana, Betty melakukan perencanaan turn pad area dengan *flexible pavement* di Bandar Udara Soa Bojawa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

peningkatan kepadatan di bandar udara tersebut memerlukan *turn pad* untuk mempermudah manuver pilot.

5. Rian Riandi, Nidya Novalia, dan Albert Kurniawan Purnomo melakukan evaluasi pemeliharaan *runway* di Bandar Udara Husein Sastranegara. Penelitian mereka menyoroti perlunya perawatan landasan pacu sebagai tempat mendarat dan lepas landas untuk mengatasi gangguan operasional yang disebabkan oleh kondisi yang tidak memungkinkan penggunaan landasan pacu.
6. Cok Nanda Late Rezki dalam penelitiannya melakukan analisis perbandingan metode desain perkerasan bandara antara metode grafis dan Faarfield, dengan studi kasus di Bandara Juanda. Studi ini menunjukkan bahwa perencanaan tebal perkerasan *runway* menggunakan kedua metode tersebut memberikan hasil yang tidak terlalu berbeda.