

2 LANDASAN TEORI

2.1 Bandar Udara

Bandar udara adalah kawasan di daratan dan atau perairan dengan batas batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intran dan antar moda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya (Estikhamah et al., 2021.).

Definisi Bandar Udara menurut PT. (persero) Angkasa pura, Bandar Udara adalah lapangan udara, termasuk segala bangunan dan peralatan yang merupakan kelengkapan minimal untuk menjamin tersedianya fasilitas bagi angkutan udara untuk masyarakat.

Menurut (Undang Undang No 1 Tahun 2009) tentang penerbangan, pengertian Bandar udara adalah lapangan terbang yang digunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, dan atau kargo. Serta dilengkapi dengan keselamatan penerbangan dan sebagai tempat perpindahan antar moda transportasi. Sedangkan bandar udara umum adalah bandar udara yang dipergunakan untuk melayani kepentingan umum.

2.1.1 Jenis Bandar Udara

Jenis bandar udara meliputi:

1. Bandar Udara yang melayani kepentingan umum, artinya dapat digunakan oleh masyarakat umum untuk keperluan penerbangan komersial maupun non komersial.
2. Bandara Khusus yang digunakan untuk kepentingan suatu badan usaha atau instansi tertentu, dan tidak diperuntukan untuk umum secara luas.

Fungsi Bandar udara meliputi:

1. Bandar Udara Domestik bandar udara yang ditetapkan sebagai bandar udara yang melayani rute penerbangan dalam negeri.
2. Bandar Udara Internasional bandar udara yang ditetapkan sebagai bandar udara yang melayani rute penerbangan dalam negeri dan rute penerbangan dari dan ke luar negeri.

2.1.2 Peran Bandar Udara

Bandar Udara sebagai tempat awal dan berakhirnya transportasi udara memiliki peran dan fungsi yang sangat penting sebagai fasilitas pelayanan angkutan udara dan unit bisnis yang efektif dan efisien dalam rangka menunjang dan menggerakkan perekonomian wilayah (Sukirman, 2024). Bandar udara memiliki peran dan fungsi sebagai berikut:

1. simpul dalam jaringan transportasi udara yang digambarkan sebagai titik lokasi yang menjadi pertemuan beberapa jaringan dan rute angkutan udara sesuai hierarki bandar udara.
2. Pintu gerbang kegiatan perekonomian dalam upaya pemerataan pembangunan, pertumbuhan dan stabilitas ekonomi serta keselarasan pembangunan nasional dan pembangunan daerah yang digambarkan sebagai lokasi dan wilayah di sekitar bandar udara yang menjadi pintu masuk dan keluar kegiatan perekonomian.
3. Tempat kegiatan alih moda transportasi, dalam bentuk interkoneksi antar moda pada simpul transportasi guna memenuhi tuntutan peningkatan kualitas pelayanan yang terpadu dan berkesinambungan yang digambarkan sebagai tempat perpindahan transportasi udara ke moda transportasi lain.
4. Pendorong dan penunjang kegiatan industri, perdagangan dan/atau pariwisata dalam menggerakkan dinamika pembangunan nasional, serta keterpaduan dengan sektor pembangunan lainnya, digambarkan sebagai lokasi bandar udara yang memudahkan transportasi udara pada wilayah di sekitarnya.
5. Pembuka isolasi daerah, digambarkan dengan lokasi bandar udara yang dapat membuka daerah terisolir karena kondisi geografis dan/atau karena sulitnya moda transportasi lain, penghubung daerah perbatasan dalam rangka mempertahankan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, serta kemudahan dalam penanganan bencana alam pada wilayah tertentu dan sekitarnya.
6. prasarana memperkuat wawasan nusantara dan kedaulatan negara, digambarkan dengan titik-titik lokasi bandar udara yang dihubungkan dengan jaringan dan rute penerbangan yang mempersatukan wilayah dan kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia.

7. Penanganan bencana, digambarkan dengan lokasi bandar udara yang memperhatikan kemudahan transportasi udara untuk penanganan bencana alam pada wilayah sekitarnya.

2.2 Komponen Bandar Udara

Komponen bandar udara mencakup seluruh infrastruktur yang menunjang aktivitas transportasi udara, baik dari segi keselamatan, kenyamanan, maupun efisiensi pelayanan terhadap penumpang dan kargo (Bethary et al., 2016.).

2.2.1 Fasilitas Sisi Udara

Fasilitas sisi udara adalah bagian dari bandar udara dan segala fasilitas penunjangnya yang merupakan daerah bukan publik dimana setiap orang, barang, dan kendaraan yang akan memasukinya wajib melalui pemeriksaan keamanan dan/atau memiliki izin khusus (Peraturan Menteri Perhubungan No 77 Tahun 2015). Berikut Fasilitas sisi udara pada bandara meliputi:

1. Landasan Pacu (*Runway*)

Landasan pacu adalah area berbentuk persegi panjang di permukaan bandara yang digunakan untuk proses lepas landas dan pendaratan pesawat. Sebuah bandara dapat memiliki satu atau lebih landasan pacu yang dirancang dan diorientasikan untuk menjamin operasional yang aman, dan efisien dalam berbagai kondisi. Penentuan lokasi, orientasi, dan jumlah landasan pacu dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti kondisi cuaca lokal khususnya arah dan intensitas angin topografi wilayah bandara dan sekitarnya, serta jenis dan volume lalu lintas udara yang akan dilayani (Setiawan D.M. et al., 2019).

2. Landasan Parkir (*Apron*)

Apron adalah area sisi udara yang diperuntukan bagi operasional pesawat seperti naik dan turun penumpang, pengisian bahan bakar, parkir, dan pemeliharaan. Fasilitas ini sangat penting untuk mengatur aktivitas pesawat di darat secara efisien

3. Landasan Penghubung (*Taxiway*)

taxiway (landasan penghubung) adalah jalur lintasan pergerakan darat pesawat udara pada suatu *land aerodrome* untuk berpindah dari suatu bagian ke bagian

lain *aerodrome* tersebut. Pada umumnya fungsi *taxiway* adalah sebagai penghubung antara landasan pacu dengan *apron* (tempat parkir pesawat udara).

2.2.2 Fasilitas Sisi Darat

Sisi Darat suatu bandar udara adalah wilayah bandar udara yang tidak langsung berhubungan dengan kegiatan operasi penerbangan. Adapun ditinjau dari pengopersiannya, fasilitas sisi darat sangat terkait erat dengan pola pergerakan barang dan penumpang serta pengunjung dalam suatu bandar udara. Sehingga pengoperasian fasilitas ini harus dapat memindahkan penumpang, kargo, surat, pesawat, pergerakan kendaraan permukaan secara efisien, cepat dan nyaman dengan mudah dan berbiaya rendah. Selain itu aspek keselamatan, keamanan dan kelancaran penerbangan juga harus tetap dipertimbangkan terutama sekali pada pengoperasian fasilitas sisi darat yang terkait dengan fasilitas sisi udara. Dalam penetapan standar persyaratan teknis operasional fasilitas sisi darat, satuan yang digunakan untuk mendapatkan nilai standar adalah satuan jumlah penumpang yang dilayani. Hal ini karena aspek efisiensi, kecepatan, kenyamanan keselamatan, keamanan dan kelancaran penerbangan dapat dipenuhi dengan terjaminnya kecukupan luasan yang dibutuhkan oleh masing-masing fasilitas.

1. Terminal Bandar Udara

Terminal penumpang merupakan bangunan yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem transportasi darat dan udara. Terminal ini menampung berbagai kegiatan transisi, seperti perpindahan penumpang dan bagasi dari dan ke pesawat, serta pemrosesan penumpang yang datang, berangkat, transit, atau transfer. Selain itu, terminal harus mendukung kegiatan operasional, administratif, dan komersial, serta memenuhi standar keselamatan, keamanan penerbangan, dan ketentuan teknis bangunan lainnya.

2. Curb

Curb merupakan area di depan terminal bandara yang disediakan untuk memfasilitasi penurunan dan penjemputan penumpang dari kendaraan, terutama kendaraan pribadi atau umum. Keberadaan area ini mempermudah akses penumpang saat memasuki atau meninggalkan terminal, serta mendukung kelancaran arus kendaraan di zona terminal.

3. Fasilitas Keamanan dan Keselamatan

Fasilitas keamanan bandara merupakan sistem dan perangkat yang digunakan untuk mendukung petugas dalam memeriksa penumpang, bagasi kabin, bagasi tercatat, dan kargo. Tujuannya untuk memastikan keamanan penerbangan secara efisien tanpa perlu membuka isi bagasi secara fisik.

4. Area Parkir Kendaraan

Tempat parkir kendaraan yang disediakan untuk para penumpang pesawat yang membawa mobil atau transportasi pribadi.

2.3 *Runway*

Runway dikenal sebagai landasan pacu, adalah fasilitas bandara yang sangat penting. Tanpa landasan pacu yang direncanakan dan dikelola dengan baik, pesawat tidak akan dapat beroperasi di bandara yang dituju. Dalam merencanakan landasan pacu beberapa hal harus diperhatikan: panjang, lebar, orientasi (arah), konfigurasi, kemiringan atau kelandaian, dan ketebalan perkerasan. Landasan pacu difasilitasi oleh sistem marka (*marking*), sistem pencahayaan (*lighting*), dan rambu-rambu (*signs*). Semua ini digunakan untuk membantu pilot dalam mengoperasikan pesawat saat akan berjalan, lepas landas, dan anjang-ancang pendaratan (Sari et al., n.d.).

Kelengkapan data, yang merupakan komponen penilaian, mencakup nama landasan pacu, nomor, dan azimuth, yang merupakan angka atau nomor yang menunjukkan penomoran landasan pacu dan arah kemiringannya. Data ini telah ada sejak awal perencanaan dan pembangunan bandar udara. Selanjutnya adalah dimensi landasan pacu yang mencakup panjang dan lebar. Pesawat kritis yang dilayani, temperatur udara sekitar, ketinggian lokasi, kelembaban bandar udara, kemiringan landasan pacu dan karakteristik permukaan landasan pacu lainnya memengaruhi panjang landasan pacu. Fasilitas landasan Pacu ini memiliki banyak bagian, dan masing-masing bagian memiliki kebutuhan yang berbeda.

Menurut (ICAO, 2018) panjang landasan pacu harus mengacu pada *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL), yaitu panjang minimum yang

diperlukan pesawat untuk lepas landas. Perhitungan ARFL harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti suhu, elevasi, kemiringan landasan, arah dan kecepatan angin, serta kapasitas pesawat. Selain itu, koreksi terhadap kondisi lokal seperti kelembaban dan karakteristik permukaan landasan juga diperlukan karena dapat mempengaruhi kebutuhan panjang landasan pacu.

2.3.1 Konfigurasi *Runway*

Konfigurasi *runway* adalah bentuk atau pola susunan landasan pacu yang dirancang berdasarkan kebutuhan operasional serta kondisi lingkungan sekitar bandara termasuk arah angin dominan dan ketersediaan lahan. Konfigurasi *runway* bervariasi dan dapat digunakan sesuai kebutuhan dari perencana. Pada umumnya konfigurasi *runway* mengacu kepada beberapa bentuk sebagai berikut:

1. Landasan Pacu Tunggal

Sebagian besar bandara di Indonesia menggunakan konfigurasi landasan pacu tunggal, yang merupakan bentuk paling sederhana. Kapasitas landasan pacu tunggal dalam kondisi *Visual Flight Rules* (VFR) berkisar antara 45 hingga 100 gerakan per jam, sedangkan dalam kondisi *Instrument Flight Rules* (IFR) kapasitasnya menurun menjadi 40 hingga 50 gerakan per jam, tergantung pada jenis pesawat dan ketersediaan alat bantu navigasi. VFR adalah kondisi penerbangan saat cuaca baik dengan jarak pandang yang memadai sehingga pilot dapat mengoperasikan pesawat dengan pandangan langsung ke luar. Sebaliknya, IFR adalah kondisi penerbangan yang mengandalkan instrumen pesawat karena cuaca buruk atau jarak pandang rendah, sehingga pilot mengikuti panduan alat navigasi tanpa melihat ke luar. Berikut merupakan ilustrasi landasan pacu tunggal pada Gambar 2.1.

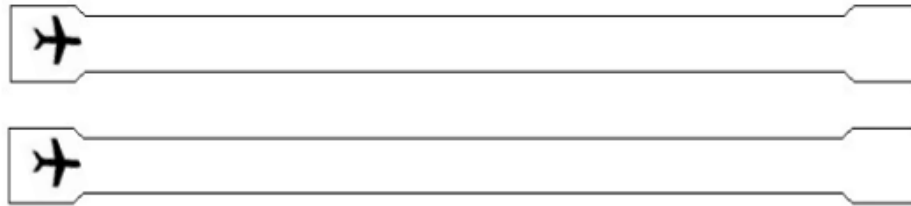


Gambar 2.1 Landasan Pacu Tunggal

2. Landasan Pacu Sejajar

Kapasitas landasan pacu sejajar terutama dipengaruhi oleh jumlah landasan dan jarak antar landasan tersebut. Biasanya, konfigurasi ini terdiri dari dua atau empat landasan pacu sejajar. Jarak antar landasan pacu dikategorikan menjadi

tiga, yaitu rapat (700–2500 kaki), menengah (2500–4300 kaki), dan renggang (lebih dari 4300 kaki). Semakin besar jarak antar landasan, kapasitas operasional landasan pacu cenderung meningkat, terutama dalam kondisi penerbangan dengan aturan instrumen (IFR). Berikut merupakan ilustrasi landasan pacu sejajar pada Gambar 2.2.



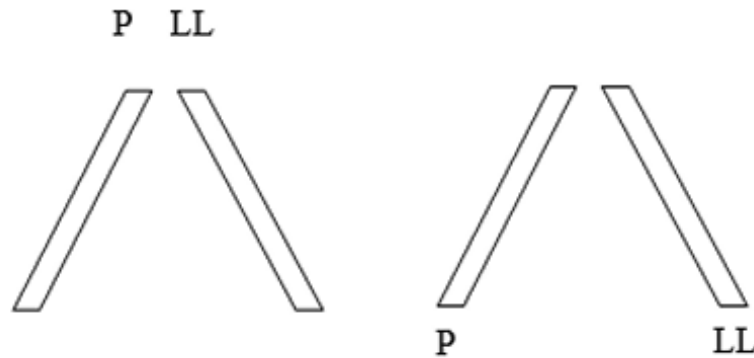
Gambar 2.2 Landasan Pacu Sejajar

3. Landasan Pacu Bersilang

Landasan pacu bersilang diperlukan ketika angin bertiup kencang dari satu arah sehingga dapat menimbulkan angin silang berlebihan jika landasan hanya mengarah ke satu arah angin. Jika kecepatan angin kurang dari 20 knot (13 m/s), kedua landasan dapat digunakan secara bersamaan. Kapasitas landasan pacu bersilang sangat bergantung pada lokasi persilangan, apakah di tengah atau di ujung landasan, serta pada strategi operasi penerbangan seperti pola pendaratan dan lepas landas. Semakin jauh titik persilangan dari awal landasan dan ambang pendaratan, kapasitas operasional landasan akan menurun.

4. Landasan Pacu V Terbuka

Landasan V terbuka adalah konfigurasi landasan pacu yang terdiri dari dua landasan dengan arah divergen namun tidak saling berpotongan. Konfigurasi ini dibentuk karena arah angin yang datang dari berbagai arah, sehingga diperlukan landasan dengan orientasi berbeda. Saat angin bertiup kencang dari satu arah, hanya satu landasan yang dapat dioperasikan. Namun, ketika angin bertiup lemah, kedua landasan dapat digunakan secara bersamaan. pengaturan ini memungkinkan operasi penerbangan yang lebih fleksibel sesuai kondisi cuaca. Berikut merupakan ilustrasi landasan pacu v terbuka pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Landasan Pacu V Terbuka

2.3.2 Elemen Elemen *Runway*

Elemen-Elemen yang terdapat pada landasan pacu sudah diatur dan ditentukan berdasarkan *Aerodrome Reference Code* (ARC) dengan menggunakan kode nomor dan huruf. Elemen-elemen tersebut antara lain:

1. *Shoulder/Bahu* Landasan Pacu merupakan bangunan yang harus dibangun secara simetris pada masing masing sisi runway. Bahu harus melebar kesamping runway sehingga lebar total *runway* tidak kurang dari 60 m (200 feet). *Shoulder* dirancang untuk menampung pesawat saat keluar dari landasan sehingga tidak mengakibatkan kerusakan pesawat dan juga kuat untuk menampung kendaraan yang beroperasi di *shoulder*.
2. *Turning Area/Area* berputar merupakan area putaran pesawat disediakan di beberapa titik di landasan pacu, roda utama terluar pesawat udara yang menggunakan landasan pacu dengan tepi dari area putaran haru memiliki ruang bebas.
3. *Runway Longitudinal Slope/kemiringan* memanjang Landasan Pacu merupakan perbedaan antar elevasi maksimum dan minimum sepanjang garis tengah runway dengan panjang runway, kita dapat menghitung seluruh kemiringan runway.
4. *Transverse slope* merupakan pencegah naiknya air saat hujan, beberapa bagian runway harus memiliki kemiringan melintang yang cukup.
5. *Sight Distance/Jarak Pandang* merupakan pergeseran kemiringan tidak dapat dihindari, maka garis harus berdiri tegak.

6. *Runway Surface* merupakan permukaan landasan pacu, harus memenuhi standar/nilai keandalan (*performance*) agar pengoperasian suatu fasilitas teknik bandar udara dapat dipenuhi unsur keselamatan penerbangan. Yaitu: *Pavement Clasification Index*(PCI), Kerataan (*IRI/Integrated Roughnes Index*), kekesatan permukaan perkerasan/*Skid Resistance*.
7. *Runway Strength* merupakan yang harus sanggup untuk melayani lalu lintas dan tetap berada di runway yang dimaksud.
8. *Runway Strips/Jalur Landasan Pacu* merupakan tempat yang ditentukan mencakup *runway* dan *stopway*.
9. *Stopway/Overrun/Jalur* untuk berhenti merupakan yang dipersiapkan menampung pesawat apabila pesawat gagal melakukan lepas landas dan tidak dapat berhenti di landasan pacu (keluar dari landasan).
10. *Holding Bay* merupakan tempat dimana pesawat dapat menunggu atau memberikan jalan kepada pesawat lain, sehingga lalu lintas darat menjadi lancar, yaitu: terletak pada pertemuan landas pacu dengan *taxiway*, terletak pada pertemuan dua landasan pacu, dimana salah satu landasannya digunakan sebagai *taxiway*.
11. *Runway End Safety Area* (RESA) merupakan area simetris yang memanjang dari garis tengah landasan pacu dan membatasi bagian ujung *runway strip* yang merupakan area rawan kecelakaan yang harus dikuasai sepenuhnya, oleh bandara dan harus dipersiapkan untuk situasi terburuk.
12. *Clearway* merupakan bidang persegi panjang yang membentang dari ujung landasan pacu dan simetris terhadap perpanjangan garis tengah landasan. Bidang ini bebas dari rintangan tetap dan menggunakan oleh orientasi bandara.

2.3.3 Geometri *Runway*

Geometri pada landasan pacu terdiri dari beberapa elemen, diantaranya panjang runway, lebar runway, kelandaian melintang, memanjang, bahu runway dan lainnya.

2.3.3.1 Panjang *Runway*

Panjang landasan pacu yang disyaratkan dapat ditentukan dengan menggunakan *basic runway length* (Panjang landasan pacu dasar) dikalikan dengan

angka koreksi untuk setiap perubahan suhu, ketinggian dan kemiringan landasan pacu dilokasi ang akan dibangun. Panjang landasan pacu sebenarnya atau yang direncanakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$L_a = L_b \times F_t \times F_e \times F_g \quad (2.1)$$

$$L_a = L_b \times F_t \times F_e \times F_g$$

$$L_a = \text{Panjang Landasan Pacu Aktual}$$

$$L_b = \text{Panjang Landasan Pacu Dasar}$$

$$F_t = \text{Koreksi Ketinggian}$$

$$F_e = \text{Koreksi Suhu}$$

$$F_g = \text{Koreksi Kelandaian}$$

Berdasarkan peraturan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara dalam SKEP//77/VI/2005 tentang penyusunan standar teknis 15 pengoprasian fasilitas sisi udara, dibuat pengelompokan menurut penggolongan pesawat udara dan kelas bandar udara. Penggolongan bandar udara dan golongan pesawat udara bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pengelompokan Bandar Udara

No	Kelompok Bandar Udara	Kode Angka	Airplane Rederence Field Length (ARFL)	Kode Huruf	Bentang Sayap
1	A	1	$\leq 800 \text{ m}$	A	$\leq 15 \text{ m}$
2	B	2	$800 \text{ m} \leq x \leq 1200 \text{ m}$	B	$15 \text{ m} \leq l \leq 24 \text{ m}$
3	C	3	$1200 \text{ m} \leq x \leq 1800 \text{ m}$	C	$14 \text{ m} \leq l \leq 36 \text{ m}$
4		4	$> 1800 \text{ m}$	D	$36 \text{ m} \leq l \leq 52 \text{ m}$
5				E	$52 \text{ m} \leq l \leq 65 \text{ m}$

No	Kelompok Bandar Udara	Kode Angka	Airplane Rederence Field Length (ARFL)	Kode Huruf	Bentang Sayap
6				F	$65 \text{ m} \leq 1 \leq 80 \text{ m}$

Panjang landasan pacu minimal yang diperlukan, yang ditetapkan oleh ICAO berdasarkan kode referensi pesawat pedman, harus memperhitungkan tinggi muka air laut, suhu, kemiringan, hembusan angin, dan kapasitas pesawat udara. Tipe pesawat udara yang digunakan sebagai acuan juga harus harus diperhitungkan. Panjang landasan pacu minimal ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

Faktor Koreksi Elevasi :

$$F_e = 1 + 0.07 \times \frac{h}{300} \quad (2.2)$$

Keterangan :

F_e = Faktor Koreksi Elevasi

h = Elevasi Bandar Udara

Faktor Koreksi Terhadap Temperature :

$$F_t = 1 + 0.01 \times [T_r - (15 - 0.0065 \times h)]$$

Keterangan :

F_t = Faktor Koreksi Terhadap Temperature

T_r = Temperature Bandar Udara

h = Elevasi Bandar Udara

Faktor Koreksi Kelandaian :

$$F_s = 1 + 0.1 \times s \quad (2.3)$$

Keterangan :

F_s = Faktor Koreksi Terhadap Kelandaian

s = Kelandaian Efektif

2.3.4 Karakteristik Pesawat Terbang

Menurut (Horonjeff, 2010) berat pesawat terbang sangat penting untuk menentukan tebal perkerasan *runway*, *taxiway*, dan *apron*, serta panjang *runway*. Bentang sayap dan panjang badan pesawat memengaruhi ukuran apron parkir, yang berdampak pada susunan gedung terminal. Selain mempengaruhi jari-jari putar yang diperlukan untuk kurva perkerasan, ukuran pesawat juga mempengaruhi lebar landasan pacu, *taxiway*, dan jarak antara keduanya. Selain mempengaruhi jari-jari putar yang diperlukan untuk kurva perkerasan, ukuran pesawat juga mempengaruhi lebar landasan pacu, *taxiway*, dan jarak antara keduanya. Kapasitas penumpang memengaruhi fasilitas di dalam dan sekitar terminal. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan pada pesawat terbang yaitu :

1. Berat (*Weight*)

Berat pesawat perlu diketahui untuk merencanakan tebal struktur perkerasan dan kekuatan landasan pacu.

2. Ukuran (*Size*)

Lebar, panjang pesawat, dan sayap mempengaruhi dimensi landasan pacu.

3. Kapasitas Penumpang (*Capacity*)

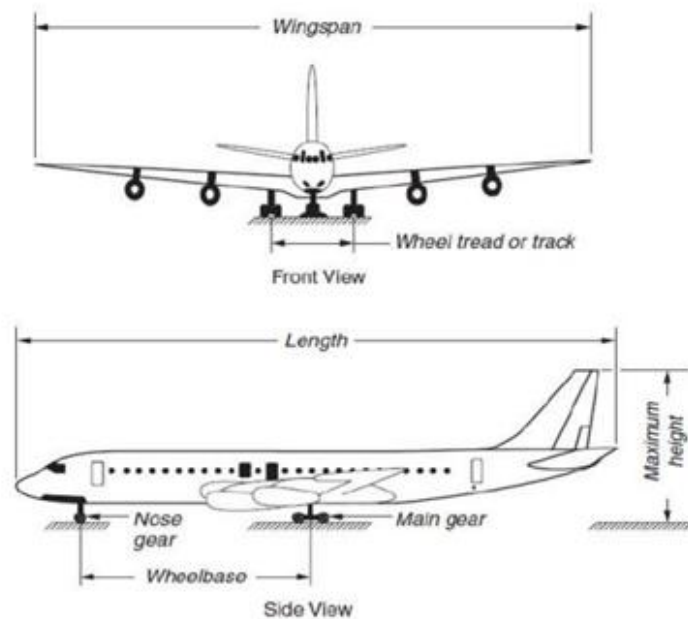
Kapasitas penumpang akan berpengaruh terhadap perhitungan perencanaan kapasitas landasan pacu. Sebagian besar seluruh luas bandara diperlukan untuk landasan pacu.

4. Konfigurasi Roda

Konfigurasi roda (tunggal, ganda, tandem ganda) menentukan ketebalan perkerasan pada area pendaratan. Badan pesawat yang lebar biasanya mempunyai konfigurasi gir pendaratan utama atau tendem ganda yang dapat mendistribusikan beban dari berat pesawat kepada lapisan-lapisan landasan.

Rencana dan desain bandar udara dipengaruhi oleh dimensi pesawat terbang. Kapasitas penumpang pesawat terbang yang digunakan dalam operasi penerbangan biasanya berkisar antara 10 hingga 700 orang. Berat pesawat

berkorelasi dengan kapasitas penumpangnya: semakin besar kapasitas pesawat, semakin berat pesawat. Berbagai faktor, termasuk kekuatan struktur lapisan perkerasan dan panjang landasan pacu, dipengaruhi oleh berat pesawat terbang. Berikut merupakan elemen pada pesawat diterbang disertakan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Elemen Pada Pesawat Terbang

Beberapa istilah yang terkait dengan dimensi pesawat terbang yang penting terhadap perencanaan dan perancangan bandar udara, diantaranya :

1. Panjang (*Length*)

Panjang pesawat ditentukan dengan mengukur jarak dari bagian depan (*Fuselage*) atau badan utama hingga bagian ekor (*Empennage*) dimensi ini digunakan sebagai dasar dalam penentuan luas area parkir pesawat. Selain itu, ketentuan standar terkait jumlah peralatan penyelamatan serta sarana pemadam kebakaran yang wajib disediakan oleh pengelola bandar udara komersial didasarkan pada ukuran panjang pesawat terbesar yang memiliki frekuensi keberangkatan minimal lima kali per hari.

2. Rentang Sayap (*Wingspan*)

Pesawat adalah jarak total dari satu ujung sayap ke ujung sayap utama pesawat. Hal tersebut diukur untuk menentukan lebar area parkir dan jarak antara gates.

Selain itu, untuk mengukur lebar landasan pacu dan taxiway serta separasi mereka (jarak pemisah).

3. *Wheel Base*

Jarak antara as roda pendaratan utama (*Main Landing Gear*) pesawat dengan as roda depan (*Nose Gear*) atau roda ekor (*Tail-Wheel*) dalam kasus pesawat tail-wheel. Jalur roda pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak antara roda luar dengan roda pendarat utama pesawat terbang.

4. *Wheel Track*

Jarak antara as roda terluar (*Outer Wheels*) dari main landing gear pesawat. *Wheelbase* dan *Wheel track* sebuah pesawat digunakan untuk menetapkan radius putar (*Turning radius*) minimum yang berperan besar dalam perancangan taxiway runoffs, taxiway intersections dan area lainnya di sisi udara bandar udara yang membutuhkan pesawat untuk melakukan tikungan.

5. *Turning Radius*

Sudut kemudi roda (*nose gear steering angle*) Sudut lebih kecil memiliki radius yang lebih kecil. Besaran radius dihitung berdasarkan jarak antara pusat rotasi dan bagian pesawat. Radius terbesar menyebabkan jarak bersih kritis antara pesawat dan bangunan.

2.3.5 Beban Pesawat

Beban Pesawat diperlukan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan landasan yang dibutuhkan. Beban pesawat biasanya dihubungkan terhadap berat operasional dari suatu pesawat. Berikut merupakan jenis-jenis beban pesawat yang telah ditentukan:

1. Berat kosong operasi (*Operating Weight Empty*)

Beban utama pesawat, termasuk awak pesawat dan konfigurasi roda pesawat tetapi tidak termasuk muatan (payload) dan bahan bakar.

2. Muatan (*Payload*)

Beban pesawat yang diperbolehkan untuk diangkut oleh pesawat sesuai dengan persyaratan angkut pesawat. Biasanya beban muatan menghasilkan pendapatan (beban yang dikenai biaya). Secara teoritis beban maksimum ini merupakan perbedaan antara berat bahan bakar kosong dan berat operasi kosong.

3. Berat Bahan Bakar Kosong (*Zero Fuel Weight*)

Beban maksimum yang terdiri dari berat operasi kosong, beban penumpang dan barang.

4. Berat Ramp Maksimum (*Maximum Ramp Weight*)

Beban maksimum untuk melakukan gerakan, atau berjalan dari parkir pesawat ke pangkal landas pacu. Selama melakukan gerakan ini, maka akan terjadi pembakaran bahan bakar sehingga pesawat akan kehilangan berat.

5. Berat Maksimum Lepas Landas (*Maximum Structural Take Off Weight*)

Beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan. Beban ini meliputi berat operasi kosong, bahan bakar dan cadangan (tidak termasuk bahan bakar yang digunakan untuk melakukan gerakan awal) dan muatan (*payload*).

6. Beban Maksimum Pendaratan (*Maximum Structural Landing Weight*)

Beban maksimum pada saat roda pesawat menyentuh lapisan perkerasan sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

2.3.6 Jenis Pesawat Berdasarkan Roda Pendaratan

Roda pendaratan berfungsi sebagai penopang utama pesawat dan memainkan peran penting dalam mendistribusikan berat pesawat ke permukaan yang ditumpangnya. Konfigurasi landing gear berbeda untuk setiap pesawat. Semua konfigurasi roda pendaratan memberikan pemahaman berikut:

1. Konfigurasi Roda Tunggal (*Single Wheel Configuration*)

Konfigurasi roda tunggal menunjukkan bahwa pada roda utama pesawat terdapat dua roda dengan satu roda di masing-masing penyangga.

2. Konfigurasi Roda Ganda (*Dual Wheel Configuration*)

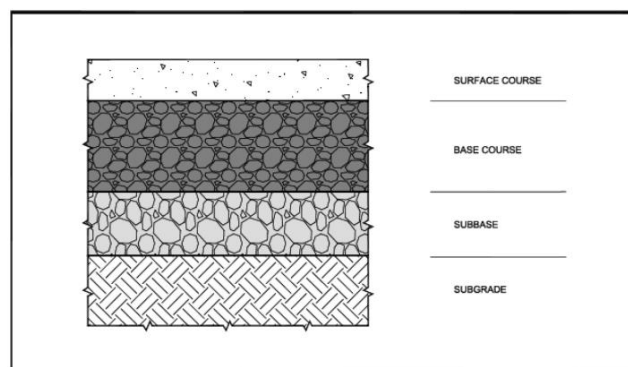
Konfigurasi roda ganda menunjukkan bahwa pada roda utama pesawat terdapat empat roda dengan dua roda di masing-masing penyangga.

3. Konfigurasi Roda Ganda Tandem (*Dual Tandem Configuration*)

Konfigurasi roda ganda tandem menunjukkan bahwa pada roda utama pesawat terdapat dua roda dengan dua roda di masing-masing penyangga.

2.4 Struktur Perkerasan *Runway*

Perkerasan pada landasan pacu terdiri dari beberapa lapisan utama, yaitu lapisan permukaan, lapisan dasar (*base course*), dan lapisan bawah (*subbase*). Fungsi utama perkerasan adalah mendistribusikan beban pesawat secara bertahap agar dapat diteruskan ke tanah dasar (*subgrade*) yang memiliki daya dukung terbatas. Dengan menyebarkan beban secara efektif, tebal perkerasan yang diperlukan dapat dikurangi. Baik perkerasan lentur (*flexible pavement*) maupun perkerasan kaku (*rigid pavement*) dapat digunakan pada setiap lapisan sesuai dengan ketentuan yang diatur berdasarkan (Administration, 2016). Untuk struktur perkerasan bisa dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Struktur Perkerasan

Menurut Perkerasan lentur (fleksibel) dan kaku (kaku) dapat digunakan untuk setiap lapisan perkerasan menurut metode FAA. Berikut untuk material lapisan perkerasan bisa dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Material Lapisan Perkerasan

No	<i>Pavement Layer</i>	Tingkatan Umum	Kegunaan
1	<i>Surface Course</i>	P-401/P-403	P-501
2	<i>Stabilized Base course</i>	P-401/P-403	P-401/P-403
		P-304	P-304
		P-306	P-306
3	<i>Base course</i>	P-209	P-209
		P-208	P-208

No	<i>Pavement Layer</i>	Tingkatan Umum	Kegunaan
		P-211	P-211
4	<i>Subbase course</i>	P-154 P-213 P-219	P-154 P-301 P-219
5	<i>Subgrade</i>	P-152 P-155 P-157 P-158	P-152 P-155 P-157 P-158

FAA menetapkan standar khusus untuk ketebalan, modulus elastis, dan rasio poisson untuk semua material. Modulus elastis tetap dan dapat berubah dalam batas yang diizinkan berdasarkan bahan yang digunakan. Rasio poisson adalah perbandingan antara regangan transversal dan regangan aksial. Nilai modulus dan rasio poisson yang diizinkan disajikan pada Tabel 2.3 .

Tabel 2.3 Nilai Modulus dan Rasio Poisson yang diizinkan

No	<i>Layer Type</i>	<i>FAA Specified Layer</i>	<i>Rigid Pavement</i>	<i>Flexible Pavement</i>	<i>Poisson Ratio</i>
1	<i>Surface</i>	P-501 PCC	4.000.000	NA	0,15
		P-401/P-403/P-601 HMA	NA	200.000	0,35
2	<i>Stabilized Base and Subbase</i>	P-401/P-403 HMA	400.000		0,35
		P-306 <i>Lean Concrete</i>	700.000		0,20
		P-304 <i>Cement Treated Base</i>	500.000		0,20
		P-301 <i>Soil Cement</i>	250.000		0,20
		<i>Variable Stabilized Rigid</i>	250.000 to 700.000	NA	0,20

No	Layer Type	FAA Specified Layer	Rigid Pavement	Flexible Pavement	Poisson Ratio
		<i>Variable Stabilized Flexible</i>	NA	150.000 to 400.000	0,35
3	<i>Granular Base and Subbase</i>	P-209 Crushed Aggregate	<i>Program Defined</i>		0,35
		P-208 Aggregate	<i>Program Defined</i>		0,35
		P-219 Recycled Concrete Aggregate	<i>Program Defined</i>		0,35
		P-211 Lime Rock	<i>Program Defined</i>		0,35
		P-154 Uncrushed Agregate	<i>Program Defined</i>		0,35
4	<i>Subgrade</i>	<i>Subgrade</i>	1.000 to 50.000		0,35
	<i>User Defined</i>	<i>User Defined Layer</i>	1.000 to 4.000.000		0,35

Berdasarkan dokument AC 150/5320_6G terdapat persyaratan tebal lapis perkerasan minimum untuk perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Adapun material yang digunakan dalam perkerasan lentur dan perkerasan kaku sebagai berikut:

a. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat elastis dimana perkerasan akan melendut saat diberi pembebanan berikut untuk material tebal minimum perkerasan lentur ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Tebal Minimum Perkerasan Lentur

No	Layer Type	FAA Specification Item	Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)		
			<12.500 5.670	<100.000 45.360	100.000 45.360

1	<i>HMA Surface</i>	<i>P 401 Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements</i>	7,62 cm	10,16 cm	10,16 cm
2	<i>Stabilized Base</i>	<i>P-401 or P 403 P-304 P-306</i>	<i>Not Required</i>	<i>Not Required</i>	12,7 cm
3	<i>Crushed Agregate Base</i>	<i>P-209 Crushed Aggregate Base Course</i>	7,62 cm	15,24 cm	15,24 cm
4	<i>Agregate Base</i>	<i>P-209 Aggregate Base course</i>	7,62 cm	Not Used	Not Used
5	<i>Subbase</i>	<i>P-154 Subbase Course</i>	10,16 cm	10,16 cm	10,16 cm

Pada umumnya susunan lapisan perkerasan terdiri dari beberapa lapisan yaitu:

2.4.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Perkerasan lentur, lapisan yang terletak di atas lapis pondasi dikenal sebagai lapisan permukaan (*surface course*). Lapisan ini umumnya terdiri atas dua bagian, yaitu lapis aus dan lapis pengikat. Lapis aus biasanya dibuat dari campuran beraspal panas dengan gradasi padat, sedangkan lapis pengikat menggunakan agregat berukuran lebih besar dengan kadar aspal relatif lebih rendah. Secara struktural maupun fungsional, lapisan permukaan memiliki sejumlah persyaratan khusus yang harus dipenuhi. Variasi jenis lapisan permukaan aspal dapat dibangun karena ketersediaan material aspal yang beragam serta fleksibilitas metode pelaksanaannya. Perbedaan tipe lapisan permukaan dipengaruhi oleh besarnya beban lalu lintas yang harus ditanggung serta jenis material konstruksi yang tersedia. Pada perkerasan lentur, lapisan permukaan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa sub-bagian, yang secara umum tersusun dari bagian paling atas hingga ke

bawah. Lapis permukaan dalam perkerasan lentur dapat dibagi menjadi beberapa sub-bagian. Secara tipikal, dari atas ke bawah adalah sebagai berikut:

1. *Seal Coat*

Jenis perawatan permukaan yang biasanya digunakan untuk mempertahankan lapis permukaan. Aspal seal coat, lapis tipis aspal tebal kurang dari 0.5 in, digunakan untuk melindungi lapis aus dari air dan memperkuat teksturnya.

2. *Wearing Course*

Lapisan yang biasanya bergradasi padat. Lapis aus kedap air, tahan gelincir, tahan terhadap alur, dan halus.

3. *Binder Course*

Lapis Pondasi Aspal, adalah lapisan campuran aspal panas yang digunakan tepat di bawah lapisan aus.

4. *Tack Coat*

Tack Coat aspal adalah lapisan aspal tipis yang digunakan untuk mengikat aspal beton yang sudah ada pada ikatan tertentu serta untuk mengikat antara dua lapisan berbeda dari perkerasan aspal, seperti lapisan aspal lama dengan lapisan tambahan atau overlay.

5. *Prime Coat*

Bahan perawatan permukaan yang dibuat dengan menyemprot atau menghamparkan aspal cair pada permukaan tanah, kerikil, atau batu pecah. Pemberian pelapis dasar dilakukan dengan tujuan menutup pori-pori tanah, memungkinkan rembesan air dari tanah dasar, mengikat debu dan material butiran lepas, dan meningkatkan adhesi antara pondasi dan lapis permukaan.

Meskipun perkerasan ideal terdiri dari lapisan ikatan dan lapisan permukaan, banyak perkerasan lentur yang dibangun hanya dengan satu lapisan. Untuk contoh, jika tebal lapis aus hanya 5 cm, perkerasan biasanya dibangun dengan satu operasi, tanpa membedakan antara lapis pengikat dan lapis permukaan.

2.4.2 Lapisan Pondasi (*Base Course*)

Lapisan pondasi (*base course*) terletak di atas lapisan pondasi bawah, atau apabila lapisan pondasi bawah tidak digunakan, berada langsung di atas tanah dasar. Material yang digunakan pada lapisan pondasi umumnya berupa agregat, seperti batu pecah, pasir batu (*sirtu*), terak pecah (*crushed slag*), maupun kombinasi dari

berbagai jenis material tersebut. Pada konstruksi perkerasan lentur, lapisan pondasi dan lapisan pondasi bawah umumnya memiliki ketebalan lebih besar dibandingkan lapisan permukaan, karena berfungsi mendistribusikan tegangan yang ditimbulkan oleh beban dari lapisan di atasnya. Secara struktural, lapisan pondasi berperan sebagai komponen utama dalam sistem perkerasan, dengan fungsi-fungsi utama sebagai berikut:

- Menahan Tekanan yang disebabkan oleh lalu lintas agar tanah dasar tidak mengalami tekanan yang berlebihan
- Berfungsi sebagai dasar perletakan lapis permukaan
- Berfungsi sebagai drainase saat air hujan merembes melalui retakan atau sambungan.

Lapisan pondasi pada perkerasan terkadang ditempatkan langsung di atas tanah dasar, meskipun umumnya dibangun di atas lapisan pondasi bawah. Dalam konstruksinya, aspek yang paling penting meliputi ketebalan, stabilitas terhadap beban lalu lintas, serta ketahanan terhadap proses pelapukan. Hal ini disebabkan oleh posisi lapisan pondasi yang relatif kurang terlindungi dibandingkan tanah dasar, sehingga dituntut memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap degradasi lingkungan. Material yang lazim digunakan untuk lapisan pondasi berupa agregat granuler, seperti kerikil atau batu pecah dengan gradasi tertentu, sehingga menghasilkan material yang stabil, mudah diolah, dan dapat dipadatkan dengan baik.

2.4.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*)

Lapisan pondasi bawah berperan penting dalam distribusi beban pada perkerasan. Fungsinya adalah memberikan ketebalan tambahan agar struktur perkerasan cukup kuat, tetapi tetap ekonomis. Kualitas material pada lapisan ini biasanya lebih rendah dibandingkan lapisan pondasi utama, baik dari sisi kekuatan, plastisitas, maupun gradasi. Pemasangan lapisan pondasi bawah tidak selalu diperlukan. Jika tanah dasar sudah memenuhi syarat teknis, maka lapisan ini bisa dihilangkan. Sebaliknya, lapisan pondasi bawah dibutuhkan bila kondisi tanah dasar jelek atau material pondasi utama sulit diperoleh di lokasi proyek.

Material yang umum digunakan untuk lapisan pondasi bawah meliputi tanah yang distabilisasi, agregat granuler padat, atau kerikil alam yang tahan lama.

Namun, tidak semua jenis material tersebut bisa dipakai sebagai lapisan pondasi utama. Karena itu, tingkat kepadatan lapisan pondasi bawah harus diuji baik di laboratorium maupun di lapangan untuk memastikan kesesuaian dengan standar.

Lapis Pondasi Bawah memiliki beberapa fungsi:

- Berfungsi sebagai bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban dari atasnya.
- Berfungsi sebagai lapisan drainase jika terdapat air di dalam komponen perkerasan, seperti ketika air hujan masuk melalui retakan.
- Meningkatkan efisiensi penggunaan material dengan mengurangi tebalnya untuk meminimalkan biaya; dan
- Mencegah material tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi.

Lapis pondasi bawah dipasang di atas tanah dasar yang lunak untuk menutup tanah dasar dan memberikan daya dukung yang cukup. Dengan demikian, alat berat dapat beroperasi dengan baik selama pelaksanaan. Dalam beberapa kasus, lapis pondasi bawah dirawat atau dicampur dengan semen, aspal, kapur, dan abu terbang (*flyash*) untuk membuatnya lebih kuat.

2.4.4 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah lapisan paling bawah yang menjadi tumpuan seluruh struktur perkerasan, mulai dari lapisan pondasi bawah, pondasi, hingga lapisan permukaan. Stabilitas tanah dasar sangat penting karena menentukan kekuatan dan keawetan perkerasan. Pada jalan maupun landasan, tanah dasar harus mampu menerima dan menyalurkan beban dari roda kendaraan atau pesawat. Jika beban melebihi kapasitas dukungannya, akan terjadi deformasi permanen yang dapat menyebabkan gelombang di permukaan dan kegagalan perkerasan.

Dalam perancangan perkerasan, penting memahami sifat elastis material baik dari perkerasan maupun tanah dasar. Informasi seperti nilai CBR, modulus elastis, dan batas tegangan yang mampu ditahan harus digunakan agar struktur tidak cepat rusak. Beban kendaraan yang bekerja di permukaan dapat menimbulkan lendutan; besarnya harus dikendalikan agar kerusakan tidak muncul dalam waktu singkat. Dengan desain yang tepat, tanah dasar mampu menopang perkerasan secara optimal sepanjang umur rencana.

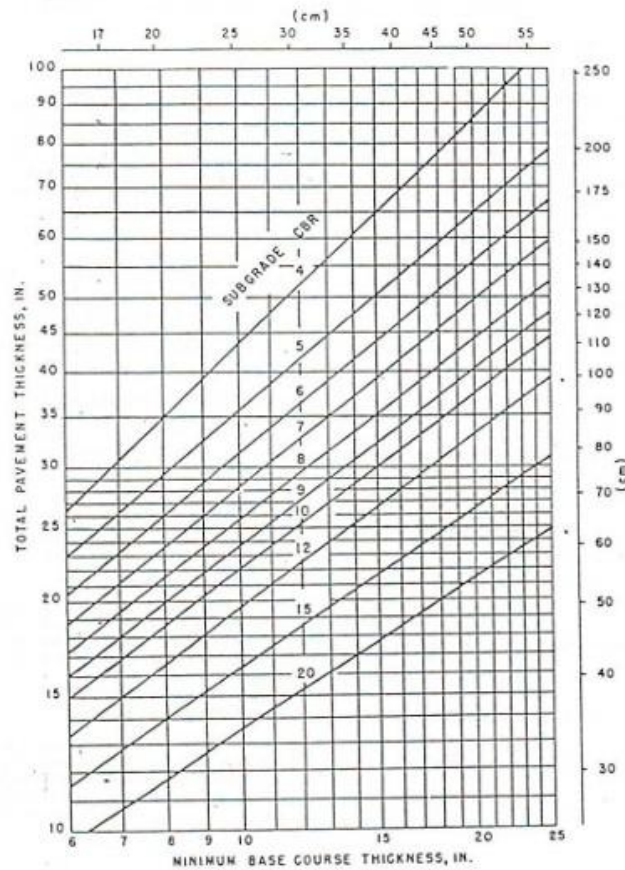
b. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku merupakan jenis struktur perkerasan yang tersusun atas lapisan beton dengan ketebalan tertentu, yang dibuat dari campuran semen dan agregat. Di bawah lapisan beton umumnya terdapat lapisan pondasi bawah (*subbase course*) yang telah dipadatkan dan didukung oleh lapisan tanah asli (*subgrade*). Penggunaan perkerasan kaku umumnya diterapkan pada area-area dengan beban tinggi maupun kondisi khusus, seperti ujung landasan pacu, pertemuan antara landasan pacu dan *taxiway*, apron, area parkir pesawat, serta lokasi yang terpapar panas semburan mesin jet dan tumpahan bahan bakar. Berikut untuk material tebal minimum perkerasan kaku ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tebal Minimum Perkerasan Kaku

No	Layer Type	FAA Specification Item	Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)		
			<12.500 5.670	<100.000 45.360	100.000 45.360
1	PCC	P-501, Portland Cement Concrete (PCC) Pavements	12,7 cm	15,2 cm	15,2 cm
2	Stabilized Base	P-401 or P 403 P-304 P-306	Not Required	Not Required	12,7 cm
3	Base	P-208 P 209 P-211 P-301	Not Required	15,2 cm	15,2 cm
4	Subbase	P-154 Subbase course	10,16 cm	As needed for frost or to create working platform	As needed for frost or to create working platform

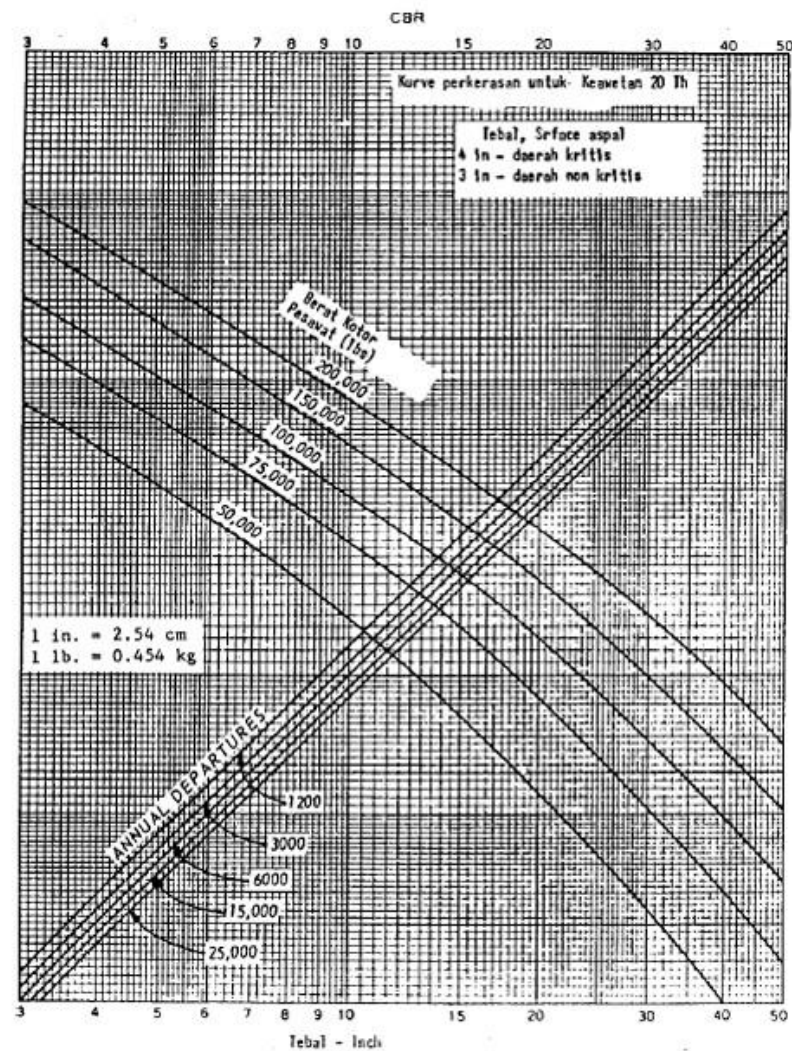
Untuk grafik minimum tebal perkerasan base course bisa dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik Minimum *Base Course*

2.4.5 Tebal Perkerasan Total

Perhitungan tebal perkerasan total mengacu pada metode FAA dengan menggunakan grafik. Data yang diperlukan meliputi nilai CBR tanah dasar (*subgrade*), berat maksimum lepas landas (MTOW) pesawat rencana, serta *Equivalent Annual Departures* (EAD). Langkah awal dalam metode ini adalah menentukan pesawat rencana, yaitu pesawat yang menghasilkan kebutuhan tebal perkerasan terbesar, meskipun bukan selalu pesawat dengan bobot paling berat. Setelah pesawat rencana ditetapkan, seluruh variabel tersebut dimasukkan ke dalam grafik FAA untuk memperoleh nilai tebal perkerasan yang dihasilkan berikut untuk grafik tebal perkerasan disertakan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Grafik Tebal Perkerasan

2.4.6 CDF (*Cumulative Damage Factor*)

Cumulative Damage Factor (CDF) yaitu faktor yang mewakili jumlah umur kelelahan struktur perkerasan yang telah terpakai selama beroperasi. Untuk desain perkerasan baru, struktur perkerasan jalan disesuaikan sampai CDF kumulatif = 1. Untuk perkerasan eksisting tergantung berdasarkan kondisi perkerasan tersebut masih mampu melayani pertumbuhan pergerakan pesawat, begitupun sebaliknya (Hariyami D et al., 2024.).

Dengan menggunakan metode CDF total, yang menunjukkan gabungan kerusakan yang terjadi pada lalu lintas yang dianalisis, metode CDF dapat menentukan pesawat mana yang memberikan kontribusi kerusakan terbesar terhadap struktur perkerasan. Metode ini digunakan dengan memilih satu jenis

pesawat rencana sebagai pesawat kritis, menghitung total *equivalent coverages* yang sebanding, menentukan ketebalan yang sesuai *evaluation thickness* (dimana ketebalan lebih besar dari ketebalan yang disarankan pada tabel input traffic data), dan berat kotor pesawat (*gross weight*) maksimum pesawat yang diizinkan. Tabel nilai PCN menunjukan bahwa total CDF lebih kecil dari 1 ($CDF < 1$), yang menunjukan bahwa perkerasan landasan pacu tersebut sangat kuat untuk mengakomodasi lalu lintas yang diperkirakan.

2.4.7 *Annual Departure*

Dalam perencanaan perkerasan landasan pacu, rancangan lalu lintas pesawat harus mempertimbangkan berbagai jenis pesawat dengan konfigurasi roda pendaratan yang berbeda. Perbedaan ini memengaruhi bagaimana beban pesawat dibagi ke masing-masing roda dan diteruskan ke struktur perkerasan. Tipe roda pendaratan (seperti roda tunggal, tandem, atau dual tandem) sangat menentukan distribusi beban pada permukaan landasan. Oleh karena itu, seluruh jenis pesawat yang beroperasi harus dimasukkan ke dalam analisis pesawat rencana (*design aircraft*) berdasarkan frekuensi penerbangan tahunan yang setara (Purwanto et al., 2019). Perhitungan biasanya dilakukan menggunakan pendekatan *Equivalent Annual Departure* atau *Equivalent Single Wheel Load* dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \times (W_2 / W_1)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Dimana :

R_1 = *Equivalent Annual Departure* Pesawat Rencana

R_2 = *Annual Departure* Pesawat-Pesawat Campuran Dinyatakan Dalam Roda Pendaratan Pesawat Rencana

W_1 = Beban Roda Dari Pesawat Rencana

W_2 = Beban Roda Dari Pesawat Yang Dinyatakan

Berikut untuk penentuan faktor konveksi roda pendaratan pesawat bisa dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Konveksi Roda Pesawat

No	Konversi Dari	Ke	Faktor Penggali
1	<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Wheel</i>	0,80
2	<i>Single Whell</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,50
3	<i>Dual Whell</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,60
4	<i>Double Dual Whell</i>	<i>Dual Tandem</i>	1
5	<i>Dual Tandem</i>	<i>Wheel</i>	2
6	<i>Dual Tandem</i>	<i>Wheel</i>	1,70
7	<i>Dual Wheel</i>	<i>Wheel</i>	1,30
8	<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Wheel</i>	1,70

Tipe roda pendaratan berperan penting dalam menentukan distribusi beban pesawat ke permukaan perkerasan. Semakin kompleks konfigurasi roda, semakin merata distribusi beban yang diteruskan ke perkerasan, sehingga dapat memengaruhi desain ketebalan perkerasan yang dibutuhkan. Ketebalan total perkerasan dirancang agar mampu melayani beban pesawat terberat yang beroperasi secara rutin. Untuk bandara dengan frekuensi penerbangan tahunan *Annual Departure* melebihi 2.500 keberangkatan, perencanaan tebal perkerasan harus mempertimbangkan peningkatan akumulasi beban dan keausan berulang. Berikut merupakan tebal perkerasan tingkat departure ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Tebal Perkerasan Tingkat Departure

No	Konversi Dari	Ke
1	50.000	104
2	100.000	108
3	150.000	110
4	200.000	112

Untuk meningkatkan kinerja struktur perkerasan, lapisan subbase dan base course sering kali perlu distabilisasi, baik secara kimia (dengan semen atau kapur) maupun mekanis (dengan pemadatan atau pencampuran agregat). Proses stabilisasi

ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung, ketahanan terhadap deformasi permanen, serta mengurangi perubahan volume akibat kadar air. Keuntungan ini paling signifikan pada perkerasan lentur (*flexible pavement*), karena sistem ini sangat bergantung pada kekuatan lapisan bawah untuk mendistribusikan beban lalu lintas secara efektif. Berikut merupakan tebal lapisan subbase dan lapisan base course yang telah distabilisasi dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor *Equivalent* Untuk *Subbase* Distabilisasi

No	Bahan	Faktor Equivalent
1	P-401, <i>Bituminous Surface Course</i>	1,7 – 2,3
2	P-201, <i>Bituminous Base Course</i>	1,7 – 2,3
3	P-215, <i>Cold Laid Bituminous Base Course</i>	1,5 – 1,7
4	P-216, <i>Mixed In Place Base Course</i>	1,5 – 1,7
5	P-304, <i>Cement Treated Base Course</i>	1,6 – 2,3
6	P-301, <i>Soil Cement Base Course</i>	1,5 – 2
7	P-209, <i>Crushed Agregate Base Course</i>	1,4 – 2
8	P-154, <i>Subbase Course</i>	1

Demikian pula dengan *Base course* yang telah distabilisasi bisa dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor *Equivalent* Untuk *Base Course* Distabilisasi

No	Bahan	Faktor Equivalent
1	P-401, <i>Bituminous Surface Course</i>	1,7 – 2,3
2	P-201, <i>Bituminous Base Course</i>	1,7 – 2,3
3	P-215, <i>Cold Laid Bituminous Base Course</i>	1,5 – 1,7
4	P-216, <i>Mixed In Place Base Course</i>	1,5 – 1,7
5	P-304, <i>Cement Treated Base Course</i>	1,6 – 2,3
6	P-301, <i>Soil Cement Base Course</i>	1,5 – 2
7	P-209, <i>Crushed Agregate Base Course</i>	1,4 – 2

No	Bahan	Faktor Equivalent
8	P-154, <i>Subbase Course</i>	1

2.5 Metode Penentuan Perkerasan

2.5.1 *Aircraft Classification Number*

Aircraft Classification Number (ACN) merupakan nilai yang menunjukkan efek relatif sebuah pesawat udara di atas tanah untuk kategori sub-grade standar tertentu. Nilai ACN untuk semua jenis pesawat (pesawat sipil) biasanya dikeluarkan oleh pabrik pesawat.

ACN dihitung dengan memperhatikan posisi pusat gravitasi (CG) yang memberikan beban kritis pada gigi kritis. Biasanya posisi CG paling belakang yang sesuai dengan massa maksimum kotor landasan yang digunakan sebagai parameter untuk menghitung ACN. Setiap pesawat terbang memiliki nilai ACN yang masing-masing berbeda antara satu dengan yang lainnya, tergantung kepada berat pesawat (*Maximum Take-off Weight* dan *Operating Empty Weight*) dan konfigurasi pesawat, seperti tekanan ban standar, konfigurasi dan geometrik roda, serta lain-lain.

2.5.2 *Pavement Classification Number*

Pavement Classification Number (PCN) merupakan daya dukung perkerasan untuk operasi tak terbatas pesawat udara dengan nilai ACN kurang dari atau sama dengan PCN. Jika nilai ACN dan tekanan roda pesawat lebih besar dari nilai PCN pada kategori subgrade tertentu yang dipublikasikan, maka operasi pesawat udara tidak dapat diberikan ijin beroperasi kecuali dengan mengurangi beban operasi. Nilai PCN harus memrepresentasikan korelasi antara beban pesawat yang diijinkan dengan nilai ACN dari pesawat terkritis Metode ini memungkinkan untuk menjelaskan dengan mudah pengaruh pesawat terbang pada sebuah perkerasan yang berbeda beda dengan penomoran yang bervariasi sesuai dengan berat pesawat dan konfigurasinya, jenis perkerasan, dan kekuatan tanah dasar.

a. Sistem Penulisan PCN

Berdasarkan (Aviation, 2014) format publikasi sistem penulisan PCN mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Nilai Numerik PCN

Nilai numerik kekuatan perkerasan terdiri dari angka 1 hingga tak hingga dan merupakan perkiraan relatif dari kapasitas daya dukung perkerasan akibat beban roda tunggal standar pesawat udara pada perkerasan.

2. Kode Jenis Perkerasan

Jenis perkerasan sesuai dengan struktur penyusunnya dibagi menjadi dua, yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku (Prayoga et al., 2018). Berikut untuk kode jenis perkerasan bisa dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kode Tipe Perkerasan

Jenis Perkerasan	Kode Jenis
Flexible	F
Rigid	R

3. Kode Kategori Daya Dukung Tanah Dasar

Perkerasan tanah dasar (*subgrade*) terbagi menjadi empat kategori berdasarkan kekuatan daya dukungnya. Kategori ini terdiri dari perkerasan lentur dan kaku. berikut untuk kategori daya dukung tanah dasar bisa dilihat pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12

Tabel 2.11 Kategori Daya Dukung Tanah Perkerasan Lentur

Kategori	Nilai CBR (%)	Represent Pci	Kode
<i>High</i>	15	$\text{CBR} \geq 13$	A
<i>Medium</i>	10	$8 < \text{CBR} < 13$	B
<i>Low</i>	6	$4 < \text{CBR} \leq 8$	C
<i>Ultra Low</i>	3	$\text{CBR} \leq 4$	D

Tabel 2.12 Kategori Daya Dukung Tanah Perkerasan Kaku

Kategori	Nilai CBR (%)	Represent Pci	Kode
<i>High</i>	552.6	$k \geq 442 (\geq 120)$	A
<i>Medium</i>	284.7	$221 < k \leq 442 (60 < k < 120)$	B
<i>Low</i>	147.4	$92 < k \leq 221 (25 < k < 60)$	C
<i>Ultra Low</i>	73.7	$k \leq 92 (\leq 25)$	D

4. Kode Tekanan Roda Pendaratan

Tekanan roda pendaratan pada perkerasan dibedakan menjadi 4 kategori sesuai dengan besarnya tekanan yang diizinkan beroperasi. Berikut untuk kode tekanan roda pendaratan pesawat bisa dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Kode Tekanan Roda Pendaratan Pesawat

Kategori	Kode	Tekanan Roda
<i>Unlimited</i>	W	> 218 psi (> 1.5 Mpa)
<i>High</i>	X	145 – 218 psi (1.0 Mpa – 1.5 Mpa)
<i>Medium</i>	Y	73 – 145 psi (0.5 Mpa – 1.0 Mpa)
<i>Low</i>	Z	≤ 73 psi (≤ 0.5 Mpa)

b. Perhitungan PCN

Berdasarkan Peraturan Dirjen Perhubungan Udara Nomor KP 93 tahun 2015, Pedoman Perhitungan PCN Perkerasan Prasarana Bandar Udara, perhitungan PCN merupakan bagian dari evaluasi sistem perkerasan runway, taxiway, dan apron bandar udara. Nilai PCN dihitung untuk berbagai tujuan, selain untuk memenuhi kebutuhan operasional pesawat, khususnya beban ijin pesawat operasional, terdapat beberapa tujuan perhitungan nilai PCN antara lain, yaitu:

1. Sebagai parameter dalam merencanakan peningkatan dan pemeliharaan di masa yang akan datang.
2. Sebagai parameter untuk mengoperasikan kembali prasarana yang tidak digunakan pada waktu tertentu.
3. Sebagai parameter untuk mengevaluasi pengoperasian pesawat dengan beban yang lebih besar dari pesawat yang sedang beroperasi.
4. Sebagai parameter dalam menilai daya dukung perkerasan setelah dioperasikan dalam jangka waktu tertentu, yang mana daya dukung perkerasan menurun seiring dengan waktu.

a. Metode Klasik

Metode klasik bergantung pada konsep perhitungan dan nilai PCN perkerasan yang dihitung berdasarkan daya dukung perkerasan dan nilai subgrade CBR. Perhitungan *equivalen annual departure* dilakukan dengan mengkonversi tipe roda pendaratan semua pesawat yang beroperasi ke pesawat kritis yang mana memiliki beban paling berat (K Himran et al., 2023).

b. Metode Grafis

Metode grafis untuk perhitungan PCN dikembangkan untuk kepraktisan. *Ministry of Defence*, Inggris, membuat metode ini dengan membuat grafik korelasi dari berbagai komponen desain dan evaluasi.

c. Perhitungan ACN dan PCN Metode FAA

FAA mengembangkan aplikasi perangkat lunak yang disebut COMFAA, yang dapat menghitung nilai ACN dan PCN menggunakan prosedur dan ketentuan yang ditetapkan oleh ICAO. Perangkat lunak ini, bersama dengan pendukungnya berupa spreadsheet, dapat digunakan dalam dua mode perhitungan: mode perhitungan ACN dan mode perhitungan tebal perkerasan.

2.5.3 Metode ACN PCN

Metode ACN (*Aircraft Classification Number*) - PCN (*Pavement Classification Number*) digunakan untuk mengontrol efektifitas dari beban pesawat terhadap struktur perkerasan landasan pacu. Metode ini dapat digunakan untuk mengukur daya dukung perkerasan pesawat operasi yang memiliki berat minimal 5.700 kg (12.500 lbs). melibatkan membandingkan nilai PCN perkerasan dengan nilai ACN pesawat. Nilai PCN ialah sebuah klasifikasi untuk penomoran perkerasan yang mana angka tersebut menggambarkan kapasitas relatif pada perkerasan saat mendukung suatu beban dari pesawat udara yang sedang beroperasi pada landasan pacu tersebut. Nilai ACN untuk setiap jenis pesawat biasanya telah dipublikasikan oleh pabrik pembuatnya. Apabila nilai PCN perkerasan kurang atau sama dengan nilai ACN, pesawat dinyatakan dapat beroperasi di landasan bandara udara tanpa batasan (Farhan M et al., 2021.).

Nilai ACN yang diizinkan untuk perkerasan lentur adalah 10% di atas nilai PCN yang dilaporkan. Untuk perkerasan kaku dan komposit, nilai ACN yang diizinkan adalah 5% di atas nilai PCN yang dilaporkan. Jumlah pergerakan pesawat setiap tahun tidak boleh melebihi 5% dari total pergerakan pesawat setiap tahun.

2.6 Pelapisan Ulang *Overlay Runway*

Pelapisan ulang (*overlay*) adalah tindakan perbaikan yang dilakukan ketika perkerasan mengalami kerusakan akibat beban berlebih, penurunan tanah yang tidak merata, genangan air, atau karena desain lama yang sudah tidak memadai.

Overlay berfungsi untuk memperkuat struktur perkerasan, memperbaiki permukaan yang rusak, meningkatkan kenyamanan laju pesawat, serta memulihkan dan meningkatkan sistem drainase permukaan. Secara umum, *overlay* juga meningkatkan integritas struktural keseluruhan dari perkerasan yang ada (Kristiawan et al., 2018). Berbagai jenis *overlay* diklasifikasikan berdasarkan tujuan dan kondisi perkerasan sebagai berikut:

a. Pelapisan Ulang

perkerasan adalah suatu jenis perkerasan lentur atau kau yang tebal, yang diadakan di atas perkerasan yang sudah ada sebelumnya

b. Pelapisan Ulang Beton Semen Portland

Pelapisan ulang suatu perkerasan yang dibuat dengan beton sement Portland

c. Pelapisan Ulang Barbitumen

Pelapisan ulang yang sebagian besar terdiri dari permukaan berbitumen.

d. Pelapisan Ulang Lentur

Pelapisan ulang yang terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan pondasi atas dan lapisan permukaan yang terbuat dari bitumen.

2.6.1 Perencanaan *Overlay runway*

Perencanaan *overlay runway* adalah suatu tahapan penentuan kebutuhan pelapisan ulang (*overlay*) terhadap perkerasan landasan pacu (*runway*) yang sudah atau telah mengalami penurunan kinerja baik secara fungsional ataupun kenyamanan dan keamanan operasional dalam penerbangan. Tujuan dilakukannya perencanaan *overlay runway* ini adalah sebagai bahan kajian atau studi literatur dalam menunjang perawatan dan pemeliharaan kebutuhan bandar udara khususnya pada fasilitas sisi udara berikut beberapa parameter dilakukannya *overlay*: Kondisi perkerasan, Kondisi Tanah dasar, Lalu lintas pesawat, target desain, Faktor konstruksi operasional.

2.6.2 Metode Federal Aviation Administration (FAA)

Federal Aviation Administration (FAA) merupakan lembaga regulator penerbangan sipil yang banyak digunakan sebagai acuan dalam perencanaan lapangan terbang. Salah satu kontribusinya adalah pengembangan metode desain perkerasan lentur sebagai penyempurnaan dari metode *California Bearing Ratio*

(CBR). Dalam metode ini, karakteristik dan kekuatan tanah dasar (*subgrade*), yang diklasifikasikan berdasarkan nilai CBR, memegang peran penting dalam menentukan ketebalan perkerasan (Pratama G et al., 2025).

Metode ini dilakukan dengan mendesain tebal struktur perkerasan lentur maupun kaku dengan mengacu pada tabel grafik yang ada pada FAA 150/5320-6D, telah divalidasi untuk masa layan 5, 10, hingga 20 tahun. Untuk memperoleh hasil perencanaan yang akurat, pemahaman terhadap sejumlah variabel utama sangat diperlukan. Perhitungan ini dapat diuji selama dua puluh tahun dan untuk 23 menentukan tebal perkerasan diperlukan pengetahuan tentang beberapa variabel, antara lain : Nilai CBR *subgrade* dan *subbase*, Berat *maximum take off weight pesawat* (MTOW), Jumlah keberangkatan tahunan (*Annual departure*), Tipe roda pendaratan tiap pesawat.

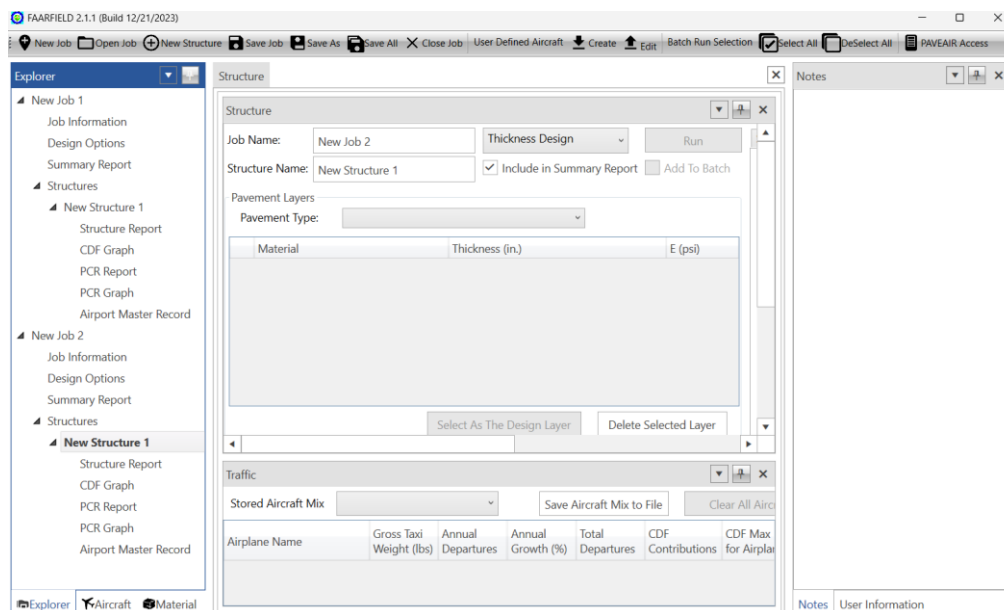
Untuk lapisan subbase course, material yang direkomendasikan meliputi P-154, P-201, P-212, P-213, dan P-301. Tahapan perhitungan struktur perkerasan runway selanjutnya dilakukan menggunakan software FAARFIELD sesuai dengan pedoman AC 150/5320-6E.

2.6.3 Metode Faarfield

Faarfield (*FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*) adalah software yang dikembangkan oleh Federal Aviation Administration (FAA) untuk mendesain perkerasan landasan pacu yang kokoh dan fleksibel. Selain itu dirancang untuk merancang ketebalan perkerasan baik untuk pembangunan baru maupun perbaikan serta menyediakan analisis menyeluruh dan laporan detail. Kelebihannya adalah analisis terintegrasi dan laporan informatif, sementara kekurangan termasuk ketergantungan pada pedoman yang mungkin kurang fleksibel dan kebutuhan pelatihan khusus.

Metode Faarfield merupakan metode desain tebal perkerasan baik lentur maupun kaku pada landasan pacu atau *runway* bandara dengan menggunakan aplikasi Faarfield (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*) prosedur perhitungan dan desain ketebalan dalam aplikasi (Palino et al., 2021.). pada aplikasi tersebut Nilai baku pada Faarfield yang digunakan FAA untuk kebutuhan perhitungan desain tebal perkerasan maupun

overlay runway telah disediakan sesuai dengan ketentuan FAA. Berikut tampilan dari aplikasi faarfield ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tampilan Aplikasi Faarfield

2.6.4 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) adalah persentase yang menunjukkan perbandingan antara beban penetrasi suatu material dengan beban pada material standar, pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material tanah dan bahan perkerasan dalam perencanaan struktur jalan atau landasan pacu. Nilai CBR tanah dasar yang telah dipadatkan (dikenal sebagai desain CBR) digunakan sebagai acuan dalam menentukan tebal perkerasan pada perencanaan jalan atau landasan pacu. Nilai ini juga menjadi indikator kemampuan tanah dalam mendukung lapisan perkerasan, khususnya untuk lapisan *base* dan *subbase*.

Pada bandara landasan pacu menggunakan struktur perkerasan lentur yang didukung sepenuhnya oleh tanah dasar. Beberapa ketentuan untuk tanah dasar pada bandara, antara lain :

- Untuk merancang perkerasan lentur (*flexible*), nilai CBR tanah dasar tidak boleh kurang dari 3%
- Untuk perencanaan perkerasan kaku (*rigid*), nilai modulus reaksi tanah dasar tidak boleh kurang dari 13,5 MN/m³.

Berikut untuk klasifikasi tanah pada CBR bisa dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Klasifikasi Tanah

CBR	Tingkatan Umum	Kegunaan
0-3	<i>Very Poor</i>	<i>Subgrade</i>
3-7	<i>Poor To Fair</i>	<i>Subgrade</i>
7-20	<i>Fair</i>	<i>Subbase</i>
20-50	<i>Good</i>	<i>Base or Subbase</i>
>50	<i>Excelent</i>	<i>Base or Subbase</i>

2.7 Peramalan Pergerakan Pesawat

Forecasting merupakan peramalan atau prediksi tentang sesuatu yang belum terjadi. Peramalan adalah prediksi apa yang akan terjadi di masa depan. Dalam dunia bisnis, sangat penting bahwa apa yang akan terjadi di masa depan digunakan sebagai dasar untuk proyeksi, perencanaan dan pengambilan keputusan. Peramalan pergerakan pesawat adalah upaya untuk memprediksi jumlah pesawat yang akan bergerak dalam jangka waktu tertentu. Peramalan biasanya didasarkan pada data masa lalu yang dianalisis menggunakan Teknik tertentu.

$$Y' = a + bx \quad (2.5)$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} \quad (2.6)$$

$$b = \frac{(\sum xY) - \frac{(\sum x)(\sum Y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (2.7)$$

Y' = Data Berkala Time Series

Y = Variabel Mencari Hasil Peramalan

a = Nilai Trend Pada Tahun Dasar

b = Rata Rata Pertumbuhan Nilai Trend Tiap Tahun

x = Variabel Waktu

n = Jumlah Data Rill