

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Bandar Udara

Bandar udara adalah lapangan terbang di mana pesawat mendarat dan lepas landas, serta menampung dan menurunkan penumpang atau barang, transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas yang diperlukan untuk menjaga keselamatan penerbangan (Estikhamah & Aryaseta, 2021).

PT (Persero) Angkasa Pura 1 menyatakan bahwa definisi bandara udara merupakan lapangan udara, termasuk segala bangunan atau peralatan yang merupakan kelengkapan minimal untuk menjamin ketersedianya fasilitas bagi angkutan udara untuk masyarakat. Pada masa awal penerbangan, bandara hanyalah sebuah tanah lapang berumput yang bisa didarati pesawat dari arah mana saja tergantung arah angin. Di masa perang dunia 1, bandara mulai dibangun permanen seiring meningkatnya penggunaan pesawat terbang dan landasan pacu mulai terlihat seperti sekarang. Setelah perang, bandara mulai ditambahkan fasilitas komersial untuk melayani penumpang. Di masa modern, bandara bukan hanya tempat untuk naik dan turun pesawat. Dalam perkembangannya, berbagai fasilitas tambahan seperti toko, restoran, pusat kebugaran, dan butik merek ternama apalagi di bandara baru.

### 2.2 Fasilitas Bandar Udara

Fasilitas Bandar udara terbagi menjadi dua bagian, yaitu fasilitas sisi udara (*airside facility*) dan fasilitas sisi darat (*landside*).

#### 2.2.1 Fasilitas Sisi Udara (*Airside Facility*)

*Airside* adalah bagian dari bandara yang berhubungan dengan kegiatan *take off* (lepas landas) dan *landing* (pendaratan). *Runway*, *taxiway* dan *apron* adalah bagian dari sisi udara:

a. Landasan pacu (*runway*)

Landasan pacu merupakan salah satu ciri khas bandar udara, adalah area berbentuk persegi panjang di atas lapangan terbang yang digunakan untuk tempat terbang dan lepas landas pesawat. Setiap bandara memiliki panjang

dan lebar *runway* yang berbeda-beda, tergantung pada kebutuhan, kondisi hambatan di sekitar bandar udara, dan faktor lainnya. Kekuatan landasan pacu juga berbeda-beda. Dalam bahasa penerbangan, PCN (*Pavement Classification Number*) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kekuatan landasan pacu dan bangunan lainnya di bandar udara. PCN dihitung berdasarkan berbagai faktor, termasuk jenis pesawat yang akan digunakan, dan ada perhitungan untuk menghitungnya. Sebanding dengan panjang landasan pacu biasanya didasarkan pada besarnya pesawat yang dilayani. Landasan perintis untuk pesawat kecil biasanya terbuat dari rumput atau tanah diperkeras (stabilisasi), dengan panjang 1.200 meter dan lebar 15 meter. Landasan ini biasanya melayani pesawat kecil seperti *Twin Otter* dan *Cessna*. Untuk bandar udara yang ramai, digunakan konstruksi aspal, dengan panjang 1.800 meter dan lebar 20 meter. Pesawat *turbo-prop* atau *jet* kecil seperti *Fokker-27*, *Tetuko 234*, dan lainnya dilayani. Di bandar udara yang ramai, biasanya dibangun dari beton dan panjang 3.600 meter dan lebarnya 30 meter (Setiani Baiq, 2015).

b. Landasan Hubung (*Taxiway*)

*Taxiway* adalah area yang menghubungkan *apron* dan *runway*. Ini berfungsi sebagai jalur untuk pesawat keluar dan masuk dari apron ke landasan pacu atau sebaliknya.

c. Landasan Parkir (*Apron*)

Karena memikul beban besar yang statis dari pesawat, *apron* adalah tempat parkir pesawat yang dekat dengan terminal, dan *taxiway* yang menghubungkan *apron* dengan *runway*. *Apron* biasanya dibuat dari beton bertulang.

### 2.2.2 Fasilitas Sisi Darat (*Landside Facility*)

a. Terminal Bandar Udara

Terminal Bandar(*concourse*) merupakan pusat untuk menagani penumpang yang datang & pergi. Terdapat ruang tunggu, dan fasilitas kenyamanan penumpang untuk *counter check-in* (CIC, *caratine-immigration-custom*) untuk bandara internasional. Di bandara besar, melalui *aviobridge*. Di bandara kecil, melalui tangga yang dapat dipindah-pindah.

b. *Curb*

*Curb* merupakan tempat penumpang naik – turun dari kendaraan darat ke dalam bangunan terminal.

c. Tempat Parkir Kendaraan

Tempat Parkir kendaraan merupakan tempat parkir para penumpang dan pengantar/penjemput, termasuk taksi.

d. Fasilitas keselamatan dan keamanan

Fasilitas keamanan bandara atau *airport security* merupakan fasilitas yang digunakan untuk keamanan baik yang berfungsi sebagai alat bantu personil pengamanan bandara memeriksa penumpang pesawat udara, termasuk barang bawaannya (*cabin, baggage dan cargo*) dengan cepat tanpa membuka bagasi mereka.

### 2.3 Runway (Landasan Pacu)

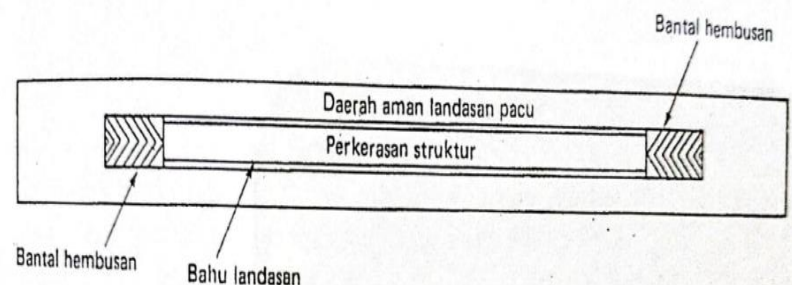
*Runway* atau landasan pacu merupakan area persegi yang panjangnya di permukaan bandar udara yang digunakan untuk lepas landas dan pendaratan pesawat udara. Ini dapat berupa kekerasan lentur atau kaku, atau hanya lapangan ditanami rumput yang panjangnya harus disesuaikan dengan jenis pesawat udara yang menjadi acuan. Menurut *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, perhitungan dimensi landasan pacu panjangnya harus berpedoman pada *aeroplane reference field length (ARFL)* yaitu landasan pacu minimum yang dibutuhkan pesawat saat lepas landas. ARFL juga harus memperhitungkan suhu, kemiringan ketinggian muka air laut, hembusan angin, dan kapasitas pesawat saat pesawat lepas landas. Diperlukan koreksi terkait kondisi lokal, termasuk elevasi, kelandaian *runway*, suhu, kelembaban, dan karakteristik permukaan *runway*, karena kondisi lokal suatu bandar udara juga mempengaruhi *aeroplane reference field length (ARFL)*

Hornieff (1993) menyatakan bahwa landasan pacu (*runway*) adalah tempat dengan ruangan yang cukup ideal yang mempengaruhi persyaratan untuk landasan pesawat terbang yang berfungsi untuk mendarat dan lepas landas. Pada awalnya, permukaan landasan pacu terbuat dari rumput atau tanah yang dipadatkan. Namun, ketika ukuran badan pesawat meningkat, biasanya aspal atau beton digunakan saat

ini. Ukurannya mulai dari 1000 m hingga 5000 m. namun, hanya ada beberapa bandara udara di Indonesia yang berukuran 4000 m x 6 m, dan landasan pacu berukuran kurang lebih 3200 m x 45 m, yang tidak cukup wajar menampung pesawat berbadan lebar seperti Boeing B747. Namun, cukup wajar mengingat Indonesia adalah kepulauan yang sangat membutuhkan bandara kecil untuk penerbangan perintis, selain itu ukuran landasan pacu tidak selalu tepat karena iklim lebih lama landasan pacu diperlukan jika suhu lebih tinggi di sekitar bandara.

*Runway* adalah kelengkapan bandar udara sisi udara (*Airside*) yang digunakan untuk lepas landas (*Take-off*) dan mendarat (*Landing*). Landas pacu dapat terdiri dari perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), atau lapangan rumput yang panjangnya bergantung pada jenis pesawat udara kritis yang beroperasi, ketinggian dari suatu Bandar Udara, temperatur Bandar Udara dan kemiringan *runway* (Gunawan & Surachman, 2019).

*Runway* merupakan area khusus yang dimaksudkan untuk memudahkan lepas landasnya pesawat. Bagian ini berbentuk persegi panjang dengan ukuran standar. Terbuat dari aspal dan beton, *runway* pesawat dirancang dengan baik untuk menahan beban hingga puluhan hingga ratusan ton. Dalam penerbangan industri, sangat penting untuk memastikan bahwa landasan pacu tidak terhalang oleh FOD (*Foreign Object Debris*), barang tertentu, atau kendaraan tertentu. Karena tidak ada masalah atau hambatan yang menyebabkan kemungkinan gagalnya landasan lepas pantai, jalur landasan pacu harus jelas dan aman.



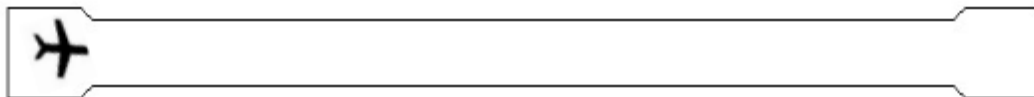
Gambar 2.1 Tampak Atas Unsur-Unsur Landas Pacu

### 2.3.1 Konfigurasi *Runway*

Konfigurasi landasan pacu sebagian besar konfigurasi adalah kombinasi dari kombinasi dasar, yang terdiri dari:

a. Landasan Pacu Tunggal (*Single Runway*)

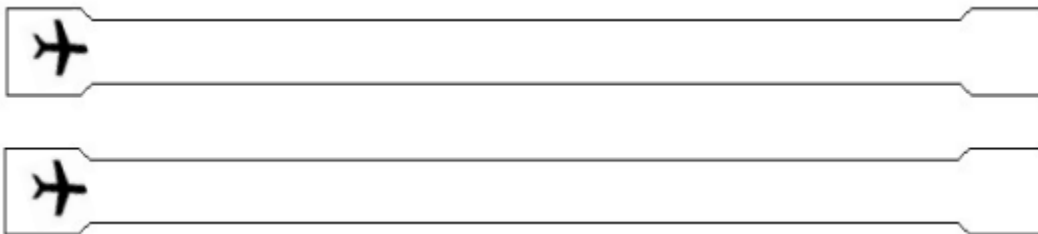
Landasan pacu tunggal merupakan konfigurasi yang sederhana, digunakan oleh sebagian besar Bandar Udara di Indonesia. Kapasitas landasan tunggal dalam kondisi *Visual Flight Rule* (VFR) berkisar antara 45 dan 100 gerakan per jam; namun, dalam kondisi *Instrument Flight Rule* (IFR), kapasitasnya berkisar antara 40 dan 50 gerakan per jam, tergantung pada komposisi pesawat dan ketersediaan alat bantu navigasi.



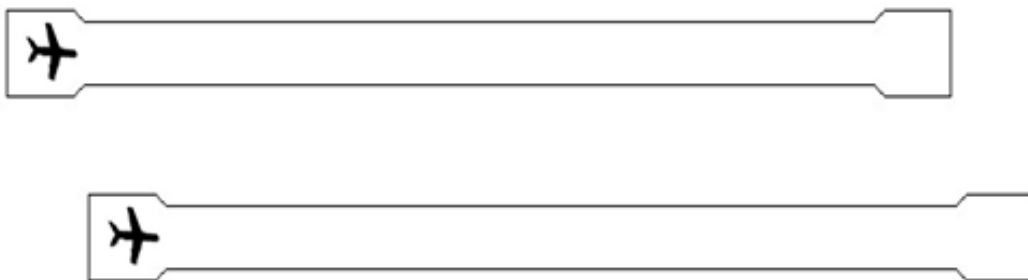
Gambar 2.2 Landasan Tunggal

b. Landasan Pacu Sejajar (*Paralel Runway*)

Landasan pacu sejajar merupakan kapasitas landasan sejajar sebagian besar tergantung pada jumlah landasan dan jarak antara kedua landasan.



Gambar 2.3 Landasan Sejajar Segaris



Gambar 2.4 Landasan Sejajar Digeser

c. Landasan Pacu Dua Jalur (*Two Track Runway*)

Landasan pacu dua jalur merupakan landasan dua jalur yang terdiri dari dua landasan sejajar yang berdekatan (*700 feet - 2400 feet*) dengan *exit taxiway* yang cukup untuk operasi penerbangan campuran. dapat dipakai pada kedua landasan ini. Namun, pengaturan yang baik diperlukan, dengan landasan

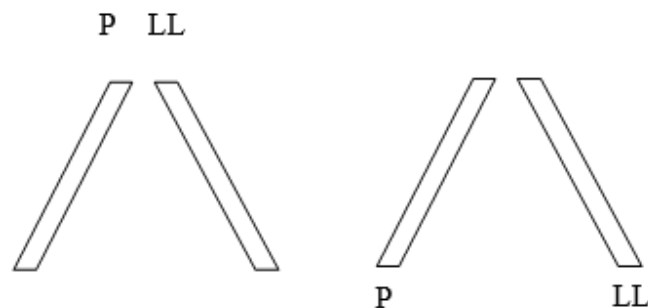
terdekat dengan terminal keberangkatan dan landasan terjauh dengan terminal kedatangan pesawat. Karena kapasitas landasan untuk terbang dan lepas landas tidak terlalu sensitif terhadap jarak 100 - 2499 *feet*, jarak yang diperlukan untuk pesawat komersial tidak kurang dari 100 *feet*. Salah satu keuntungan utama dari landasan dua jalur adalah mereka dapat meningkatkan kapasitas IFR tanpa menambah luas tanah. Dalam kondisi VFR, landasan tunggal menghasilkan lalu lintas pesawat lebih dari 60%, dan landasan dua jalur menghasilkan lalu lintas lebih dari 70%.

d. Landasan Pacu Bersilang (*Intersecting Runway*)

Landasan pacu bersilang merupakan landasan yang diperlukan apabila angin bertiup keras dari satu arah, yang akan menghasilkan tiupan angin yang berlebih bila landasan mengarah pada satu arah angin. Jika angin lemah (kurang dari 20 knot atau 13 knot), kedua landasan dapat digunakan bersama. Kapasitas dua landasan bersilangan bergantung sepenuhnya pada bagian mana landasan bersilangan (di tengah atau di ujung) dan bagaimana operasi penerbangan dilakukan, yaitu cara mendarat dan lepas landas. Jika persilangan dimulai lebih jauh dari awal lepas landasan dan *threshold*, kapasitasnya akan berkurang.

e. Landasan Pacu V Terbuka (*Open V-Runway*)

Landasan pacu v terbuka merupakan landasan yang dibentuk karena arah angin kuat dari berbagai arah, sehingga harus membuat landasan dua arah.



Gambar 2.5 Landasan V Terbuka dan V Tertutup

### 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 *runway* tersebut antara lain:

1. *Shoulder*/bahu Landasan Pacu merupakan bangun 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* 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 harus memiliki ruang bebas.
3. *Runway longitudinal slope*/Kemiringan Memanjang merupakan perbedaan antara 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 Classification Index (PCI)*, Kerataan (*IRI/Integrated Roughness Index*), kekesatan permukaan perkerasan/*skid resistance*
  - a. MU-meter merupakan Kekesatan diukur dengan cara mengukur friksi antara roda dan permukaan perkerasan dan dilakukan pada permukaan perkerasan dalam kondisi basah (membasahi permukaan).
  - b. *Grid Tester* merupakan angka kekesatan/*skid resistance* yang direkomendasikan untuk operasional permukaan perkerasan dengan alat *grid tester* adalah 0,74 – 0,53
7. *Runway strength* merupakan yang harus sanggup untuk melayani lalu lintas dan tetap berada di *runway* yang dikehendaki.
8. *Runway strips* merupakan tempat yang ditentukan mencakup *runway* dan *stopway* (jika ada) tujuan untuk mengurangi kerusakan apabila pesawat keluar dari landasan, melindungi pesawat selama *take-off* dan *landing*.

9. *Stopway/overrun*/jalur untuk Berhenti merupakan yang dipersiapkan untuk dapat menampung pesawat apabila pesawat gagal melakukan lepas landas dan tidak dapat berhenti di landasan pacu (keluar dari landasan).
10.  *Holding bay* merupakan tempat di mana 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 Bandar udara.

#### **2.4 Arah (*Orientasi*) *Runway***

Arah  *runway* dapat ditentukan dengan menganalisis arah angin. Pesawat udara yang akan mendarat ataupun lepas landas dapat melakukan pergerakan di atas landasan pacu sepanjang komponen angin yang bertiup tegak lurus dengan Bergeraknya pesawat udara ( *crosswind*) tidak berlebihan. Komponen angin berupa  *headwind*,  *tailwind*, dan  *crosswind*.  *Headwind* adalah angin yang berhembus dari arah depan pesawat.  *Tailwind* berhembus dari arah belakang pesawat dan  *crosswind* adalah angin yang berhembus dari sisi samping pesawat.

Arah  *runway* dapat ditentukan dengan pertimbangan sejumlah faktor. Faktor-faktor ini antara lain arah  *prevailing wind* (angin dominan), arah  *runway* bandara, luas lahan  *runway*, dan karakteristik pesawat yang dilayani. Saat itu selama  *manuver* dan lepas landas, pesawat dapat melakukan jangkauan komponen angin samping ( *crosswind*) tidak berlebihan. Ukuran pesawat, konfigurasi sayap dan kondisi perkerasan landasan yang menentukan tingkat  *maximum crosswind*. Standar  *crosswind* yang diizinkan oleh ICAO (satuan km/jam dan knot) seluruh



disasarkan pada Panjang *runway* referensi (*reference field length*). Persyaratan FAA untuk *crosswind* untuk semua lapangan terbang terkecuali lapangan *utility*, landasan harus diatur sehingga pesawat dapat mendarat pada 95% dari waktu dengan kecepatan *crosswind* tidak melebihi 13 knot atau (15mph).

Tabel 2.1 ICAO *Maximum Permissible Crosswind Component*

<b>Reference Field Length</b>	<b>Maximum Crosswind, km/hr (knots)</b>
1,500 m atau lebih<	37 (20)
1,200 – 1,499 m	24 (13)
< 1,200 m	19 (10)

(Sumber: Annex, 2019)

#### 2.4.1 *Wind Rose*

*Wind rose* adalah gambar lingkaran yang menampilkan angin dengan kelopak yang tersebar ditenahnya variasi warna yang berbeda di suatu tempat pada waktu tertentu. *Wind rose*, yang sering juga disebut sebagai bangkitan angin, menunjukkan frekuensi pada kejadian pada setiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin (knots atau m/s) pada suatu area dan pada waktu tertentu. *Wind rose* juga diperjelas dengan grafik yang menunjukkan arah pergerakan angin yang paling cenderung dan presentasinya pada suatu area dan pada waktu tertentu (Utami & Surachman, 2019).

Komponen *crosswind* yang dapat menghalangi *take-off* dan landing pesawat udara pada umumnya yaitu ketika kecepatan melebihi:

- a. 37 km/jam (20 knot) untuk pesawat dengan ARFL 1.500 m atau lebih, kecuali jika Tindakan pengeremen pada landasan pacu buruk (dikarenakan koefisien geser longitudinal yang tidak mencukupi), maka komponen *crosswind* lebih dari 24 km/jam (13 knot) dapat menghalangi *take off* dan landing pesawat,
- b. 24km/jam (13 knot) untuk pesawat dengan ARFL 1.200 m s/d < 1.500 m,
- c. 19 km/jam (10 knot) untuk pesawat dengan ARFL 1.200 m.

#### 2.4.2 Geometrik *Runway*

Geometrik pada landasan pacu terdiri dari beberapa elemen, diantaranya Panjang *runway*, lebar *runway*, kelandaian melintang dan mamanjang, bahu *runway*, dan lainnya.

### 2.4.2.1 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 di lokasi yang akan dibangun. Panjang landasan pacu sebenarnya atau yang direncanakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

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

Dengan:

$L_a$  = Panjang landasan pacu *actual* (m),

$L_b$  = Panjang landasan pacu dasar (m),

$F_e$  = koreksi ketinggian,

$F_t$  = koreksi suhu,

$F_g$  = koreksi kelandaian (*gradient*).

Berdasarkan peraturan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara dalam SKEP//77/VI/2005 tentang penyusunan standar teknis pengoperasian fasilitas sisi udara, dibuat pengelompokan menurut penggolongan pesawat udara dan kelas bandar udara. Penggolongan bandar udara dan golongan pesawat udara dapat dilihat pada table 2.2.

Tabel 2.2 Pengelompokan Bandar Udara dan Golongan Pesawat Udara Berdasarkan Kode Referensi Bandar Udara

Kelompok Bandar Udara	Kode Angka	<i>Airplane Reference Field Length (ARFL)</i>	Kode Huruf	Bentang Sayap
A	1	$\leq 800$ m	A	$\leq 15$ m
B	2	$800 \text{ m} \leq X \leq 1200$ m	B	$15 \text{ m} \leq l \leq 24$ m
C	3	$1200 \text{ m} \leq X \leq 1800$ m	C	$14 \text{ m} \leq l \leq 36$ m
	4	$> 1800$ m	D	$36 \text{ m} \leq l \leq 52$ m
			E	$52 \text{ m} \leq l \leq 65$ m
			F	$65 \text{ m} \leq l \leq 80$ m

(Sumber: Suryana, 2023)

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 untuk elevasi

$H$  = Elevasi bandar udara (m)

- Faktor koreksi terhadap temperatur

$$F_t = 1 + 0.01 \times [Tr - (15 - 0.0065 \times h)] \quad (2.3)$$

Keterangan:

$F_t$  = faktor koreksi terhadap temperatur

$Tr$  = temperatur bandar udara

$H$  = elevasi bandar udara (m)

- Faktor koreksi kelandaian

$$F_s = 1 + 0.1 \times s \quad (2.4)$$

Keterangan:

$F_s$  = faktor koreksi terhadap kelandaian

$s$  = kelandaian efektif

#### 2.4.2.2 Lebar *Runway*

- Untuk menentukan lebar *runway*, ditentukan dahulu kode huruf dan kode angka yang diperlukan, di atur pada table 2.

Tabel 2.3 Lebar *Runway*

<i>Code Number</i>	<b>Lebar <i>Runway</i> (m)</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
1	18	18	23	-	-	-
2	23	23	30	-	-	-
3	30	30	30	45	-	-
4	-	-	45	45	45	60

(Sumber: Azwansyah, 2020)

- Untuk menentukan kemiringan memanjang *runway*, diatur pada tabel 2.4:

Tabel 2.4 Kemiringan Memanjang *Runway*

<b>Code Letter</b>	<b>Bagian Landasan</b>	<b>¼ dari Ujung Landasan</b>
A	Maks. 2%	-
B	Maks. 2%	-
C	Maks. 1,5%	Maks. 0,8%
D	Maks. 1,25%	Maks. 0,8%
E	Maks. 1,25%	Maks. 0,8%
F	Maks. 1,25%	Maks. 0,8%

(Sumber: Azwansyah, 2020)

- Untuk menentukan kemiringan melintang *runway*, dibutuhkan untuk menjamin tidak adanya genangan air pada saluran area *runway*, diatur sesuai tabel 2.5:

Tabel 2.5 Kemiringan Melintang *Runway*

<b>Code Letter</b>	<b>Kemiringan Melintang (%)</b>
A	2
B	2
C	1
D	1
E	1
F	1

(Sumber: Azwansyah, 2020)

#### 2.4.2.3 Bahu *Runway*

*Runway shoulder* atau bahu *runway* hanya digunakan untuk *runway* dengan *code letter* D, E dan F. Untuk menentukan *code letter* dapat diklasifikasikan sesuai dengan lebar *runway*. Berikut ini pengklasifikasiannya berdasarkan lebar *runway*, ada 6 *code letter* (A, B, C, D, E dan F):

Tabel 2.6 Lebar Bahu *Runway*

<b>Code Letter</b>	<b>Golongan Pesawat</b>	<b>Lebar Bahu (m)</b>
A	I	3
B	II	3
C	III	6
D	IV	7,5
E	V	10,5
F	VI	12

(Sumber: Azwansyah, 2020)

Jadi untuk memenuhi klasifikasi, *runway shoulder* dibangun dengan lebar antara 36 meter – 80 meter. *Runway* dengan kode huruf D dan E memiliki lebar 60 meter, dan *runway* dengan kode F memiliki lebar 75 meter.

#### 2.4.2.4 Runway End Safety Area (RESA)

RESA atau area keselamatan ujung landasan pacu, jika berada di ujung landasan pacu dapat didefinisikan sebagai permukaan disekitar landasan pacu yang dipersiapkan atau cocok untuk mengurangi resiko kerusakan pada pesawat terbang jika terjadi *undershoot*, melampaui batas. Berikut perkerasan *runway end safety area*

- Dimensi *runway end safety area* dari analisa, kondisi wilayah *runway 09/07* masih mencakupi untuk membuat *runway end safety area* dengan dimensi minimal 90 x 90 meter
- Kekuatan *runway end safety area* berdasarkan annex 14, *aerodrome runway end safety area* tidak di syaratkan sebagai perkerasan seperti *runway*. Sehingga *runway* dapat dibuat dengan pemadatan tanah.
- Kemiringan *runway end safety area*
  - a) Kemiringan melintang merupakan transversal pada *runway end safety area* tidak boleh lebih 5% kearah atas atau bawah.
  - b) Kemiringan memanjang pada *runway end safety area* tidak boleh lebih dari 5%.
- Objek *runway end safety area* harus bebas dari objek tetap dan memiliki area yang mendarat untuk pesawat terbang saat keadaan dimana pesawat melakukan *undershooting* atau *overrunning*.
  - a) Kondisi *runway 27* merupakan jalan akses yang menghubungkan bandara, Gedung radar dan pangkalan udara TNI-AU, sebaiknya dipindahkan diarea luar *runway end safety area* rencana.
  - b) Kondisi *runway 09* merupakan jalan akses menuju hangar milik pangkalan udara TNI-AU sebaiknya dipindahkan dengan jalan memutari wilayah *runway end safety area* rencana, dan berbeda diluar wilayah *strip*.

#### 2.4.2.5 Clearway

*Cearway* merupakan daeah yang berbentuk empat persegi Panjang, dalam penyediaan *clearway* pada daerah keamanan kemiringan *clearway* tidak boleh lebih dari 1.25% atau Panjang *clearway* tidak boleh melebihi setengah Panjang *take-off-*

*run available* (TORA) dan bisa dibuat tergantung kebutuhan lokasi, sedangkan lebar minimum 150 m dengan kemiringan tidak melebihi 1,25%.

#### **2.4.2.6 Take-off Run Available (TORA)**

*Take-off Run Available* merupakan Panjang *runway* minimal yang dibutuhkan pesawat untuk melakukan *take-off*, menurut ARFL setelah dikoreksi terhadap elevasi, suhu dan kemiringan.

$$\text{TORA} = \text{ARFLterkoleksi}$$

#### **2.4.3 Perkerasan Runway**

Perkerasan *runway* secara umum sama dengan perkerasan jalan adalah suatu lapisan di atas tanah dasar yang telah dipadat untuk memikul beban lalu lintas, kemudian menyebarkan beban ke arah horizontal dan vertikal dan akhirnya meneruskan beban ke tingkat bawah, sehingga beban pada tanah dasar tidak melampaui daya dukung yang diizinkan. Lapis perkerasan jalan terdiri dari berbagai fraksi bantuan yang dirancang untuk memenuhi persyaratan. Dengan demikian, dalam perencanaan jalan harus mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan jalan. Faktor-faktor ini termasuk fungsi jalan, kinerja perkerasan, umur rencana, lalu lintas yang merupakan beban perkerasan, sifat tanah dasar, kondisi lingkungan, jenis dan jumlah material yang tersedia di lokasi untuk digunakan sebagai lapisan perkerasan, dan bentuk geometrik lapisan perkerasan (Suryanto & Nurokhman, 2022).

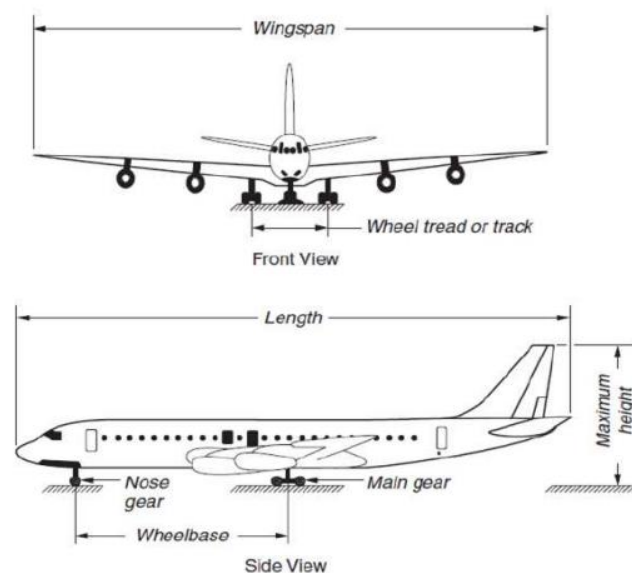
Munurut manual desain perkerasan jalan No. 02/M/BM/Bina Marga, jenis struktur perkerasan yang ditetapkan dalam desain struktur perkerasan baru terdiri dari atas: Struktur perkerasan pada permukaan tanah aslia: Struktur perkerasan pada timbunan: dan Struktur perkerasan pada galian. Berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan dibagi menjadi 3 bagian yaitu: perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), dan perkerasan komposit (*Composite Pavement*). Perbedaan utama dari perkerasan lentur dan perkerasan kaku adalah bagaimana cara struktur tersebut melimpahkan beban lalu lintas ke tanah dasar (*Subgrade*). Perkerasan kaku mampu menyebarkan beban pada tanah dasar dengan daerah penyebar luas, sehingga tekanan yang diterima tanah dasar persatuan luas

akibat beban lalu lintas menjadi sangat kecil. Kekakuan yang dimiliki oleh perkerasan kaku dapat ditingkatkan dengan memperbaiki mutu bahan penyusun yang berarti memiliki mutu beton semennya. Berbeda dengan perkerasan kaku, pada perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapis, sehingga kemampuan untuk melimpahkan beban lalu lintas ketanah dasar tergantung dari sifat-sifat penyebaran beban oleh masing-masing lapisan. Berdasarkan kenyataan diatas maka kekuatan dari jenis perkerasan lentur ini ditentukan oleh kekuatan bahan penyusunnya, tebal masing-masing lapisan dan kekuatan tanah dasarnya.

## 2.5 Pesawat Terbang

### 2.5.1 Karakteristik Pesawat Terbang

Karakteristik pesawat terbang merupakan bagian penting dari landasan perencana. Klasifikasi dan spesifikasi akan menentukan di lapangan. Untuk merencanakan infrastruktur lapangan terbang, perencanaan dan perencanaan harus memahami karakteristik pesawat terbang secara umum.



Gambar 2.6 Elemen pada Pesawat Terbang

Untuk pesawat besar, panjang landasan pacu dipengaruhi oleh jarak yang ditempuh, yang menentukan berat lepas landas (*Take-Off Weight*). Oleh karena itu, diasumsikan bahwa semakin besar pesawat terbang, semakin panjang landasan pacu tidak selalu benar. Tabel 2.7 di bawah ini menunjukkan karakteristik beberapa pesawat terbang:

Tabel 2.7 Karakteristik Pesawat Terbang

Jenis Pesawat	Bentang Sayap	Panjang Pesawat	MTOW (kg)	MLW (Kg)	Berat Kosong (kg)	Berat Bahan Bakar (kg)	Muatan <i>Maximum</i> Penumpang	Panjang Landasan Pacu (m)
ATR 72	27m	27,2	22.000,0	21.850,0	12.950,0	20.000,0	62-74	1.250,0
Fokker 50	29m	25,2	19.950,0	19.500,0	12.590,0	18.600,0	50	1.120,0

(Sumber: Bandar Udara, UGM 2016)

### 2.5.1.1 Berat Pesawat Terbang

Tebal lapisan perkerasan landasan yang diperlukan ditentukan oleh beban pesawat. Beberapa jenis beban dengan pengoprasian pesawat sebagai berikut:


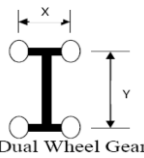
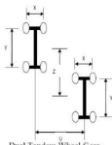
- a. Berat kosong operasi (OWE = *Operating Weight Empty*) adalah beban utama pesawat, yang mencakup konfigurasi roda pesawat, tetapi tidak mencakup muatan (*payload*) atau bahan bakar.
- b. Muatan (*payload*) adalah beban pesawat yang dapat diangkut oleh pesawat diatur oleh persyaratan angkut pesawat. Beban muatan biasanya dikenal sebagai beban yang dikenai biaya. Beban maksimum ini sebenarnya adalah perbedaan antara berat operasi kosong dan berat bahan bakar kosong.
- c. Berat bahan bakar kosong (ZFW = *Zero Fuel Weight*) adalah beban maksimum terdiri dari berat operasi kosong, barang, dan penumpang
- d. Beban *ramp* maksimum (MRW = *Maximum Ramp Weight*) adalah jumlah tenaga yang diperlukan untuk bergerak atau berjalan dari parkir pesawat ke pangkal landasan pacu. Selama pergerakan ini, bahan bakar akan dibakar sehingga menyebabkan berat pesawat berkurang.
- e. Berat maksimum lepas landas (MTOW = *Maximum Structural Take Off Weight*) adalah dengan mempertimbangkan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan, beban maksimum dapat dicapai pada awal lepas landas. Berat operasi kosong, muatan (*payload*), bahan bakar dan cadangan (tidak termasuk bahan bakar yang digunakan untuk memulai gerakan) dan bahan bakar.
- f. Berat maksimum pendaratan (MLW = *Maximum Structural Landing Weight*) dengan mempertimbangkan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan, beban maksimum yang dapat ditanggung pesawat dapat dicapai pada saat roda pesawat menyentuh lapis keras (mendarat).



### 2.5.1.2 Konfigurasi Roda Pendaratan

Konfigurasi roda pendaratan dirancang untuk menahan beban yang lebih kecil dari pesawat lepas landas maksimum dan menyerap gaya yang muncul selama proses pengangkutan. Jenis pesawat dan tempat pesawat menentukan pembagian beban *static* antar roda penempatan utama (*main gear*) dan roda kepala. Untuk menjaga keseimbangan pesawat, pembagian muatan harus dilakukan sehingga gravitasi pesawat tidak melampaui batas maksimal baik kedepan maupun ke belakang tubuh pusat pesawat. Untuk merencanakan kekuatan landasan, *nose gear* menerima 5% beban, sedangkan main gear menerima 95% beban. Dengan dua main gear, masing-masing gear menahan 47,5% beban pesawat. Sumbu tengah dibuat antara dua gear utama yang memiliki lebih dari satu gear. Konfigurasi roda penampakan utama harus diperhatikan saat perencanaan dimensi dan perkerasan landasan pacu.

Tabel 2.8 Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Pesawat.

Konfigurasi roda pendaratan utama	Tipe Pesawat	Ukuran (in)				Tekanan angin roda pesawat (psi)
		X	Y	Z	U	
 Single Wheel Gear	DC-9	25				152
	B-737	30,5				148
	B-727	34				168
 Dual Wheel Gear	DC-8-61	30	55			188
	DC-8-62	32	55			187
	DC-8-63	32	55			196
	DC-10-10	54	64			173
	B-720B	32	49			145
	B-707-120B	34	56			170
	B-707-320B	34	56			180
	<i>Concorde</i>	26,4	65,7			184
	A 300B	35	55			168
 Dual Tandem Wheel Gear	747 A	44	58	121,2	142	204
	747 B, C, F	44	58	121.2	142	185

(Sumber: Basuki, 2008)

## 2.6 *Federal Aviation Administration (FAA)*

*Federal Aviation Administration (FAA)* atau disingkat dengan FAA merupakan Lembaga *regulator* penerbangan sipil metode ini adalah metode yang paling umum digunakan dalam perencanaan lapangan terbang. Badan penerbangan *Federal Amerika* mengembangkan perencanaan perkerasan lebtur (*flexible pavement*) metode FAA, yang merupakan pengembangan dari metode CBR yang telah ada sebelumnya. Jenis tanah dasar (*subgrade*) dan kekuatan sangat mempengaruhi analisis perhitungan. FAA telah membagi tanah menjadi beberapa kelompok untuk mengetahui nilai CBRnya, perhitungan tebal perkerasan didasarkan pada grafik yang telah dibuat FAA dan didasarkan pada pengalaman *Corps of Enginners* dengan metode CBR. Perhitungan ini dapat diuji selama dua puluh tahun dan untuk 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
- Drainase bandar udara

### 2.6.1 *California Bearing Ratio (CBR)*

Persentase digunakan untuk menunjukkan perbandingan beban penetrasi suatu bahan dengan bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Pengujian ini dilakukan untuk menilai kekuatan bahan yang digunakan untuk perencanaan perkerasan dan tanah dasar.

- Penetrasi 0,1” (2.5mm)

$$\text{CBR} \frac{\rho_1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (2.5)$$

- Penetrasi 0,2” (5mm)

$$\text{CBR} \frac{\rho_2}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (2.6)$$

Pemeriksaan CBR bertujuan untuk menghitung harga CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada tingkat air tertentu. Fokus pemeriksaan ini adalah

untuk mengetahui bagaimana kadar air dan kepadatan tanah berinteraksi satu sama lain. Nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan (dikenal juga sebagai desain CBR) digunakan untuk menentukan tebal perkerasan untuk perencanaan jalan baru. Nilai CBR dihitung untuk menilai kemampuan tanah, utamanya digunakan sebagai *base* atau *subbase* di bawah berkeraan jalan atau lapangan terbang.

Tabel 2.9 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Harga CBR

CBR No	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>Excellent</i>	<i>Base</i>

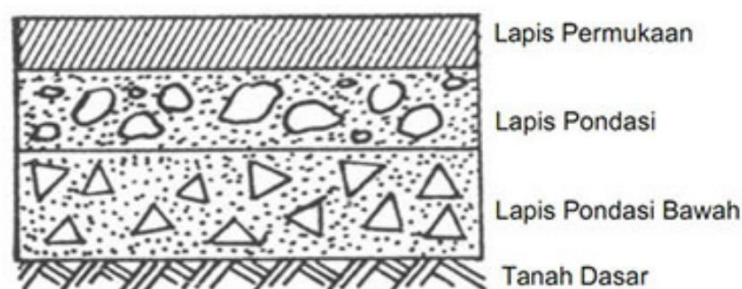
(Sumber: Kusuma, 2017)

Pada bandaralandsan 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/m<sup>3</sup>.

## 2.6.2 Struktur Perkerasan

Perkerasan pada landasan pacu metode FAA terdiri dari berbagai jenis lapisan perkerasan, termasuk lapisan luar, lapisan dasar, lapisan bawah dan lapisan bawah. Tugas perkerasan adalah untuk menyebarkan tanah dasar sehingga tanah memiliki kapasitas yang lebih besar. karena dasar dapat memikul beban yang lebih besar, tebal perkerasan yang diperlukan akan berkurang.



Gambar 2.7 Susunan Lapisan Perkerasan

Perkerasan lentur dan kaku diatur dalam *Circular Advisory* 150/5320-6E.

Tabel 2.10 Spesifikasi Material Perkerasan Lapisan

<b>Pavement Layer</b>	<b>Tingkatan Umum</b>	<b>Kegunaan</b>
<i>Surface Course</i>	P-401/P-403	P-501
<i>Stabilized Base course</i>	P-401/P-403 P-304 P-306	P-401/P-403 P-304 P-306
<i>Base course</i>	P-209 P-208 P-211	P-209 P-208 P-211
<i>Subbase course</i>	P-154 P-213 P-219	P-154 P-301 P-219
<i>Subgrade</i>	P-152 P-155 P-157 P-158	P-152 P-155 P-157 P-158

(Sumber: *Advisory Circular*, 2009)

FAA menetapkan standar khusus untuk ketebalan, modulus elastis, dan *rasio poisson* untuk semua material, sesuai dengan bahan yang digunakan. Sebagai perbandingan antara regangan *transversal* dan regangan *aksial*, sebagai berikut:

Tabel 2.11 Nilai Modulus dan *Rasio Poisson* yang diizinkan

<b>Layer Type</b>	<b>FAA Specified Layer</b>	<b>Rigid Pavemt psi (Mpa)</b>	<b>Flexible Pavement psi (Mpa)</b>	<b>Poisson's Ratio</b>
<i>Surface</i>	P-501 PCC	4,000,000 (30,000)	NA	0,15
	P-401/P-403/P-601 HMA	NA	2,00,000 (1,380) <sup>1</sup>	0,35
<i>Stabilizad Base and Subbase</i>	P-401/P-403 HMA	4,00,000 (3,000)		0,35
	P-306 / <i>Lean Concreted</i>	700,000 (5,000)		0,2
	P-304 / <i>Cement treated base</i>	500,000 (3,500)		0,2
	P-301 Soil cement	250,000(1,700)		0,2
	<i>Variable stabilized rigid</i>	250,000 to 700,000 (1,700 to 5,000)	NA	
	<i>Variable stabilized flexible</i>	NA	150,000 to 400,000 (1,000 to 3,000)	0,35

<i>Layer Type</i>	<i>FAA Specified Layer</i>	<i>Rigid Pavement psi (Mpa)</i>	<i>Flexible Pavement psi (Mpa)</i>	<i>Poisson's Ratio</i>
<i>Granular Base and Subbase</i>	<i>P-209 Crushed aggregate</i>	<i>Program Defined</i>		0,35
	<i>P-208 Aggregate</i>	<i>Program Defined</i>		0,35
	<i>P-219, Recycled concrete aggregate</i>	<i>Program Defined</i>		0,35
	<i>P-211, lime rock</i>	<i>Program Defined</i>		0,35
	<i>P-154 UnCrushed aggregate</i>	<i>Program Defined</i>		0,35
<i>Subgrade</i>	<i>Subgrade</i>	1,00 to 50,000 (7 to 350)		0,35
<i>User-defined</i>	<i>User-defined layer</i>	1,000 to 4,000,000 (7 to 30,000)		0,35

(Sumber: *Advisory Circular, 2009*)

Mudah dipahami, bahan yang digunakan FAA disesuaikan yang digunakan di Indonesia. Surat peringatan 150/5320-6E mengatur penyetaraan tersebut:

Tabel 2.12 Penyetaraan Material FAA dengan Material di Indonesia

<b>Jenis</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Setara Material di Indonesia</b>
<i>Undefined</i>	Tidak didefinisikan	-
<i>Subgrade</i>	Tanah Dasar	Lapisan Pondasi Kelas A Lapisan Pondasi Kelas B
<i>Aggregate:</i> P-208 P-209 ( <i>Crushed</i> ) P-154 ( <i>UnCrushed</i> )	<i>Agregat pecah dan tidak pecah</i>	
HMA: All P-401/P-403: <i>Surface Overlay</i>	<i>Hot Mix Asphalt</i>	AC-WC/AC-BC
<i>Stabilized (Flexible) Variable</i> P-401/P-403 HMA	Bahan Stabilisasi Aspal	ATB
PCC: All P-501 <i>Surface Overlay fully unbonded Over partianlly banded Overlay in flexible</i>	<i>Rigid Pavement</i>	Beton K-350 – K-500
<i>Stabilized (flexible)</i>	Stabilisasi dengan semen	
Variable P-301 <i>Soil Cement Base</i>		CTB

Jenis	Keterangan	Setara Material di Indonesia
P-304 <i>Cement Treated Base</i> P-306 <i>Econocrete Subbase</i>		

(Sumber: Advisory Circular, 2009)

Berdasarkan dokumen AC 150/5320\_6G terdapat persyaratan tebal lapis perkerasan minimum untuk perkerasan lentur dan perkerasan kaku, sebagai berikut:

Tabel 2.13 Tebal Minimum Perkerasan Lentur

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
HMA Surface	P-401, <i>Hot Mix, Asphalt (HMA) Pavement</i>	3 in. (75mm)	4 in. (100mm)	4 in. (100mm)
Stabilized Base	P-401 or P-403; P-304; P-306	Not Required	Not Required	5 in. (125mm)
Crushed Aggregate Base	P-209, <i>Crushed Aggregate Base course</i>	3 in. (75mm)	6 in. (150mm)	6 in. (150mm)
Aggregate Base	P-209, <i>Aggregate Base course</i>	3 in. (75mm)	Not Used	Not Used
Subbase	P-154, <i>Subbase course</i>	4 in. (100mm)	4 in. (100mm) (If required)	4 in. (100mm) (If required)

(Sumber: Advisory Circular, 2009)

Tabel 2.14 Tebal Minimum Perkerasan Kaku

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
Base	P-208, P-209, P-211, P-301	Not Required	6 in. (150mm)	6 in. (150mm)
Stabilized Base	P-401 or P-403; P-304; P-306	Not Required	Not Required	5 in. (125mm)
PCC Surface	P-501, <i>Portland</i>	5 in. (125mm)	6 in. (150mm)	6 in. (150mm)

<i>Layer Type</i>	<i>FAA Specification Item</i>	<i>Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)</i>		
		<i>&lt;12,500 5.670</i>	<i>&lt;100,000 45.360</i>	<i>≥100,000 45.360</i>
<i>Base</i>	P-208, P-209, P-211, P-301	<i>Not Required</i>	6 in. (150mm)	6 in. (150mm)
<i>Stabilized Base</i>	P-401 or P-4-3; P-304; P-306	<i>Not Required</i>	<i>Not Required</i>	5 in. (125mm)
	<i>Cement Concrete (PCC) Pavements</i>			
<i>Subbase</i>	P-154, <i>Subbase course</i>	4 in. (100mm)	<i>As needed for frost or to create working platform</i>	<i>As needed for frost or to create working platform</i>

(Sumber: *Advisory Circular, 2009*)

### 2.6.3 Annual Departure

Rancangan lalu lintas pesawat perkerasan harus mencakup berbagai jenis pesawat dengan berbagai tipe roda pendaratan. Yang tidak sama bagaimana berat pesawat dibagi menjadi roda-rodanya dan diteruskna ke perkerasan yang mampu melayani seluruh pesawat ditentukan oleh tipe roda pendaratan. Semua jenis model lalu lintas harus dimasukkan ke dalam pesawat rencana dengan perebangan tahunan yang sebanding dari pesawat-pesawat sebelumnya dengan rumus, sebagai berikut:(Purwanto & Sunandar, 2019):

$$\text{Log } R_1 = (\text{log } R_2) \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^{1/2} \quad (2.7)$$

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

$W_1$  = Beban roda dari pesawat yang dinyatakan

Untuk pesawat berbadan lebar, diasumsikan mempunyai berat 300.000 lbs dengan roda pendaratan dual tandem. Tipe roda pendaratan seperti tabel berikut:

Tabel 2.15 Faktor Konversi tiap Roda Pendaratan tiap Pesawat

No	Konversi dari	Ke	Faktor penggali
1	<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Wheel</i>	0,80
2	<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,50
3	<i>Dual Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,60
4	<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Tandem</i>	1,00
5	<i>Dual Tandem</i>	<i>Wheel</i>	2,00
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

(Sumber: Purwanto & Sunandar, 2019)

Tipe roda pendaratan menentukan berat pesawat yang nantinya akan membagikan bebannya kepada roda-roda dan diteruskan ke perkerasan. akan menentukan tebal perkerasan mampu melayani berat seluruh pesawat *Annual departure* lebih dari 25.00, tebal harus ditambah dengan mengikuti tebal berikut.

Tabel 2.16 Tebal Perkerasan bagi Tingkat *Departure* > 25.000

No	Konversi dari	Ke
1	50.000	104
2	100.000	108,00
3	150.000	110
4	200.000	112

(Sumber:Purwanto & Sunandar, 2019)

Untuk mendapatkan lapisan perkerasan yang lebih baik, material *subbase* dan *base course* perlu diadakan stabilitasi, keuntungan terutama pada perkerasan *flexible*. dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.17 Faktor *Equivalent* untuk *Subbase* yang distabilisasi

No	Bahan	Faktor <i>Equivalent</i>
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 Base course</i>	1,5-2,0
7	P-209, <i>Crushed Agregate Base course</i>	1,4-2,0
8	P-154, <i>Subbase course</i>	1,0

(Sumber:Purwanto & Sunandar, 2019)

Demikian pula dengan *Base course* yang telah distabilisasi terlihat pada tabel dibawah ini:

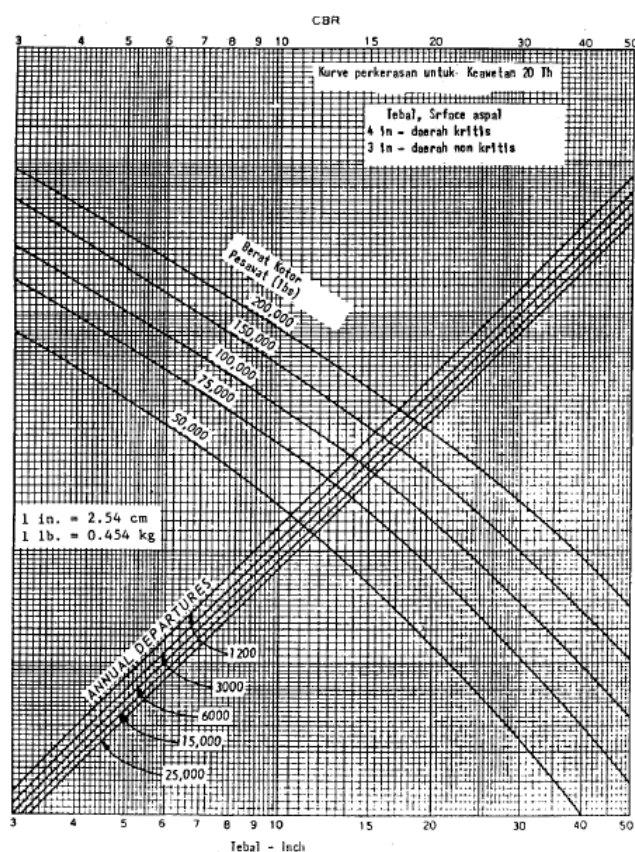


Tabel 2.18 Faktor *Equivalent* untuk *Base* yang distabilisasi

No	Bahan	Faktor <i>Equivalent</i>
1	P-401, <i>Bituminous Surface Course</i>	1,2-1,6
2	P-201, <i>Bituminous Base course</i>	1,2-1,6
3	P-215, <i>Cold Laid Bituminous Base course</i>	1,0-1,2
4	P-216, <i>Mixed In Place Base course</i>	1,0-1,2
5	P-304, <i>Cement Treated Base course</i>	1,2-1,6
6	P-301, <i>Soil Cement Base Base course</i>	<i>Non Aplicable</i>
7	P-209, <i>Crushed Agregate Base course</i>	1,0
8	P-154, <i>Subbase course</i>	<i>Non Aplicable</i>

(Sumber:Purwanto & Sunandar, 2019)

#### 2.6.4 Tebal Perkerasan Total



Gambar 2.8 Grafik Penentu Tebal Perkerasan

Tebal perkerasan total dihitung dengan memplotkan data CBR *subgrade* yang diperoleh dari FAA, *Adivisory Circular 150/5335-5, maximum Take Off Weight* pesawat rencana, dan nilai *Equivalent Annual departure* ke dalam grafik. Metode FAA untuk menentukan ketebalan perkerasan terlebih dahulu harus menentukan pesawat rencananya. Pesawat rencana adalah pesawat yang bebannya menghasilkan ketebalan perkerasan yang paling besar, meskipun pesawat rencana tidak selalu

membawa beban paling berat. Mengetahui ketebalan perkerasan yang paling besar, *variable-variable* yang diperlukan dimasukkan kedalam grafik diatas:

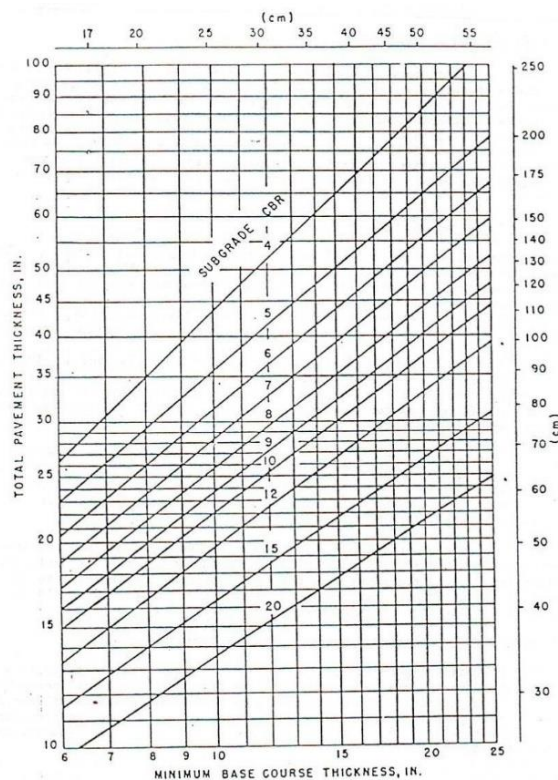
#### 2.6.4.1 Tebal perkerasan *Subbase*

*Subbase* adalah lapisan perkerasan diatas tanah dasar/*subgrade*. Dengan nilai CBR *subbase* yang ditentukan, MTOW, dan *Equivelent Annual departure* maka dari grafik yang sama didapat harga yang merupakan tebal lapisan diatas *subbase*, yaitu lapisan *surface* dan lapisan *base*. Maka, tebal *subbase* sama dengan tebal perkerasan total dikurangi tebal lapisan diatas *subbase*.

#### 2.6.4.2 Tebal perkerasan *Surface*

*Surface* adalah lapisan permukaan atau lapisan paling atas dari suatu susunan perkerasan. Biasanya permukaan terdiri dari beton semen *Portland/Portland Cement Conctete* (PCC) dan aspal campuran/*Hot-Mix Asphalt* (HMA). Grafik diatas menunjukkan nilai ketebalan permukaan aspal untuk daerah kritis atau non-kritis.

#### 2.6.4.3 Tebal Perkerasan *Base course*



Gambar 2.9 Grafik Minimum *Base Course* yang diperlukan

*Base course* adalah lapisan diatas *subbase*, dan dibawah *surface*. Menghitung tebal *base course* sama dengan tebal lapisan diatas *subbase* dikurangi tebal lapisan permukaan/*surface*. Hasil ini dapat dicek dengan membandingkan dengan tebal *base course* minimum, jika tebal *base course* minimum lebih besar dari tebal *base course*, sehingga tebal *subbase course* juga berubah. Dalam perencanaan lapangan terbang, metode ini adalah yang paling umum digunakan, dibuat oleh badan penerbangan *Federal Amerika Serikat*. Jenis tanah dasar (*subgrade*) dan kekuatan sangat mempengaruhi analisis perhitungan (Dhyani, 2018).

### **2.6.5 Cumulative Damage Factor (CDF)**

FAA bergantung pada konsep faktor kerusakan kumulatif, juga dikenal sebagai *cumulative damage factor (CDF)*. Kontribusi masing-masing jenis pesawat dalam campuran lalu lintas dihitung untuk menghitung total kerusakan kumulatif dari semua operasi pesawat dalam campuran lalu lintas. 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 menunjukkan bahwa total CDF lebih kecil dari 1 ( $CDF < 1$ ), yang menunjukkan bahwa perkerasan landasan pacu tersebut sangat kuat untuk mengakomodasi lalu lintas yang diperkirakan.

### **2.7 International Civil Aviation Organization (ICAO)**

*International Civil Aviation Organization* atau singkatan ICAO merupakan sebuah perusahaan penerbangan sipil internasional. ICAO didirikan pada tanggal 4 April 1944 sebagai kelanjutan dari konferensi penerbangan sipil internasional yang diadakan di *chicago* pada *chicago convention*. ICAO mengembangkan *standar and Recommended Practice (SARP)* dalam kerja sama dengan *industry* penerbangan dan organisasi penerbangan di seluruh dunia. SARP adalah standar

dan rekomendasi pelaksanaan seluruh yang diterapkan di seluruh dunia penerbangan. Lebih dari 1000 SARP telah dibuat oleh ICAO, dengan 18 annex, peraturan ICAO 39 berlaku di seluruh dunia. Selain itu, ICAO memiliki banyak peraturan yang dijelaskan dalam *Aerodrome Design Manual* dan dibagi menjadi beberapa bagian. ICAO menetapkan metode ACN-PCN untuk memperhitungkan bandara, terutama *runway*.

### **2.7.1 Air Classification Number (ACN)**

*Air Classification Number (ACN)* adalah suatu nilai yang menunjukkan dampak relatif dari pesawat udara diatas *pavement* untuk kategori *subgrade* standar tertentu. Nilai ACN untuk semua jenis pesawat (pesawat sipil) umumnya diterbitkan oleh pabrik pembuat pesawat, nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan pemodelan matematika baik untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) maupun perkerasan lentur (*flexible pavement*).

### **2.7.2 Pavement Classification Number (PCN)**

*Pavement Classification Number (PCN)* adalah angka yang menunjukkan daya dukung perkerasan untuk operasi pesawat udara tak terbatas jika nilai ACN kurang dari atau sama dengan PCN. Jika nilai ACN dan tekanan roda pesawat lebih besar dari PCN pada kategori *subgrade* tertentu yang dipublikasikan, maka operasi pesawat udara tidak dapat diijinkan beroperasi kecuali dengan mengurangi beban operasi. Nilai PCN harus menunjukkan korelasi antara beban pesawat yang diizinkan dengan nilai PCN terdiri lima komponen yaitu nilai numerik kekuatan, jenis perkerasan, kategori kekuatan subgrade, kategori tekanan roda, dan metode pelaksanaan evaluasi.

### **2.7.3 Metode ACN-PCN**

Metode ACN-PCN adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengontrol beban pesawat yang beroperasi saat membangun perkerasan sisi udara bandar udara. Metode ini hanya digunakan untuk pesawat dengan berat minimal 5.700 kg (12.500 lb) ini karena bandara dengan trotoar untuk pesawat berukuran kecil hanya perlu melaporkan massa maksimum dan tekanan ban maksimum jika berlaku. Berikut ketentuan menulis nilai PCN:

1. Nilai numerik kekuatan perkerasan terdiri dari angka 1 sampai dengan tak hingga.
2. Jenis perkerasan terdiri dari perkerasan kaku dengan simbol R dan perkerasan lentur dengan simbol huruf F.
3. Kategori *subgrade* dibagi menjadi empat kategori baik untuk perkerasan kaku maupun perkerasan lentur yaitu kategori A, B < C atau D. penentuan kategori kekuatan *subgrade* tercantum dalam tabel 2.22.
4. Tekanan izin roda terdiri dari empat kategori yaitu W, X, Y, atau Z seperti tercantum di Tabel 2.19.
5. Metode evaluasi terdiri dari pengujian langsung dengan pesawat analog ditunjukkan dengan huruf U dan dengan perhitungan analitis ditunjukkan dengan huruf T.

Contoh penulisan PCN 45 F/ B/ X/ T

Tabel 2.19 Tekan Izin Roda Pesawat

No	Kategori	Tekan Ijin (Mpa/Psi)	Kode
1	<i>High</i>	Tidak Terbatas	W
2	<i>Medium</i>	1.5/218	X
3	<i>Low</i>	1.0/145	Y
4	<i>UltraLow</i>	0.5/73	Z

(Sumber: Ariawan, 2019)

Tabel 2.20 Kode Tipe Perkerasan

No	Tipe Perkerasan	Kode
1	Perkerasan <i>Rigid</i>	R
2	Perkerasan <i>Fleksibel</i>	F

(Sumber: Annex, 2019)

Kode nilai PCN berdasarkan metode yang digunakan untuk menghitung nilai PCN dibedakan menjadi dua metode yaitu metode secara Teknik dengan diberikan “T” dan metode menggunakan uji coba pesawat yang diberikan kode “U”.

Tabel 2.21 Metode Evaluasi

No	Metode Evaluasi	Kode
1	Evaluasi teknis, penelitian khusus karakteristik perkerasan dengan menggunakan teknologi tinggi	T
2	Menggunakan pengalaman pesawat dalam penerbangan-penerbangan reguler	U

(Sumber: Annex, 2019)

Nilai K permukaan *subgrade* dihasilkan dari pengujian *plate bearing test*, tata cara pengujian *plate bearing test* dapat dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam AASTHO T-222.

Tabel 2.22 Kategori Daya Dukung *Subgrade* untuk Perkerasan Kaku

No	Kategori <i>Subgrade</i>	Nilai K Permukaan <i>Subgrade Pci</i> (MN/m <sup>3</sup> )	Interval Nilai K Permukaan <i>Subgrade Pci</i> (MN/m <sup>3</sup> )	Kode
1	<i>High</i>	555,6 (150)	$K > 442 (> 120)$	A
2	<i>Medium</i>	294,7 (80)	$221 < k < 442 (60 < k < 120)$	B
3	<i>Low</i>	147,4 (40)	$92 < k < 221 (25 < k < 60)$	C
4	<i>UltraLow</i>	73,7 (20)	$K < 92 (< 25)$	D

(Sumber: Ariawan, 2019)

Tabel 2.23 Kategori Daya Dukung *Subgrade* untuk Perkerasan Lentur

No	Kategori <i>Subgrade</i>	Nilai CBR <i>Subgrade %</i>	Interval CBR <i>Subgrade %</i>	Kode
1	<i>High</i>	15	$CBR \geq 13$	A
2	<i>Medium</i>	10	$8 < CBR < 13$	B
3	<i>Low</i>	6	$4 < cbr \leq$	C
4	<i>UltraLow</i>	3	$CBR \leq$	D

(Sumber: KP 93, 2015)

## 2.7.4 Metode Pendekatan Evaluasi Perkerasan

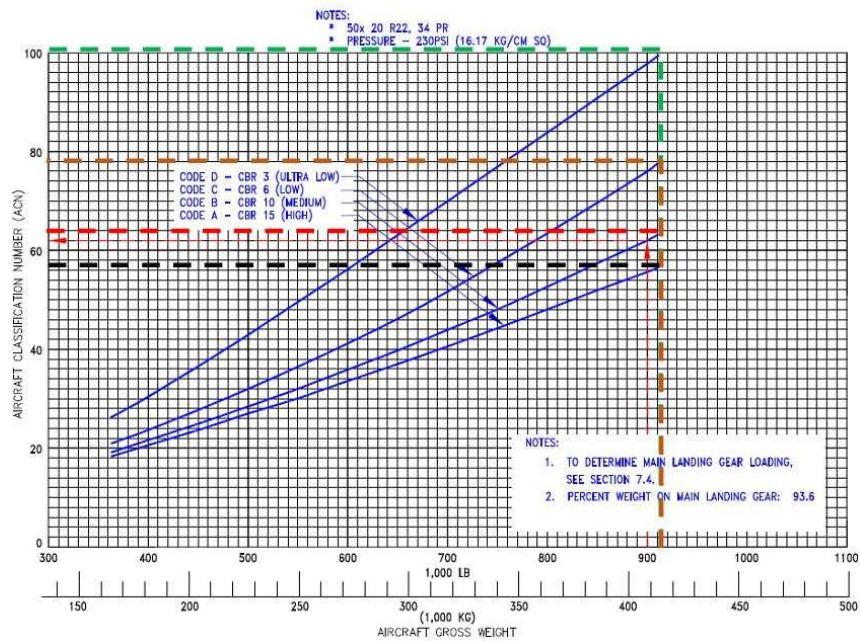
Metode yang dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan *runway*, ACN dapat dihitung dengan metode grafis dari pabrik pembuat pesawat, perangkat lunak COMFAA, atau metode yang dikembangkan oleh *Canadian Department of Transportation*.

### 2.7.4.1 Metode *Aircraft Manufacturer*

*Metode Aircraft Manufacturer* adalah sebuah metode untuk menghitung nilai ACN setiap pesawat dengan menggunakan grafik dari pembuatan pesawat. Berat kotor pesawat dan jenis *subgrade* yang ada di *runway*, *taxiway*, atau *apron* yang akan dilalui pesawat. Sebagai contoh adalah Boeing 737-900ER.

Dimana,

Untuk jenis *Subgrade high* (A), untuk jenis *Subgrade medium* (B), untuk jenis *Subgrade low* (C), dan untuk jenis *Subgrade ultra low* (D).



Gambar 2.10 Contoh Grafik Perhitungan ACN dari Pabrik Pesawat Boeing 747-400ER

*Metode Aircraft Manufacturer* adalah sebuah metode untuk menghitung nilai ACN setiap pesawat dengan menggunakan grafik dari pembuatan pesawat. Berat kotor pesawat dan jenis *subgrade* yang ada di *runway*, *taxiway*, atau *apron* yang akan dilalui pesawat. Sebagai contoh adalah Boeing 737-900ER.

#### 2.7.4.2 Metode COMFAA

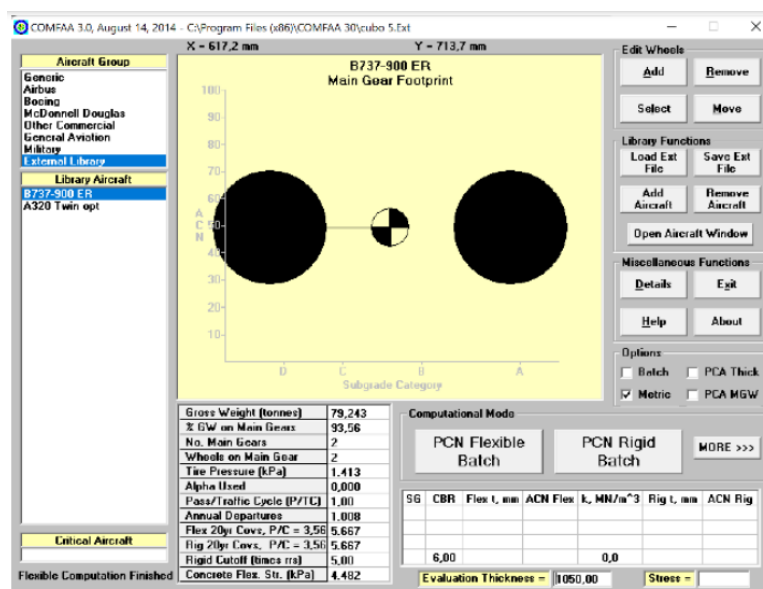
COMFAA merupakan suatu program komputer dengan tujuan untuk melakukan perhitungan *Aircraft Classification Number* (ACN) dan perhitungan desain perkerasan. Konsep *Cummulative Damage Factor* (CDF) digunakan dalam program COMFAA untuk menghitung efek gabungan dari beberapa pesawat yang beroperasi di bandara. Efek lalu lintas gabungan ini disetarakan dengan efek kritis pesawat, sehingga perhitungan PCN dapat secara proporsional mencakup dampak dari semua lalu lintas pesawat.

COMFAA merupakan program yang tujuan umumnya beroperasi dalam dua mode komputasi: mode komputasi ACN (*Aircraft Classification Number*) dan mode komputasi perkerasan PCN (*Pavement Classification Number*). ACN adalah angka yang menunjukkan dampak kerusakan pesawat terhadap struktur perkerasan pada kondisi tanah dasar normal, sedangkan PCN adalah angka menunjukkan kekuatan

struktur perkerasan untuk operasi tidak terbatas. Oleh karena itu, tidak ada Batasan untuk mengoperasikan pesawat di bandara tertentu jika ACN pesawat tertentu pada berat tertentu kurang dari atau sama dengan ACN dari bandara tertentu ( $ACN \leq PCN$ ).

FAA telah menerbitkan perangkat lunak bernama COMFAA untuk mendapatkan nilai ACN/PCN karena persyaratan ICAO dan banyak negara menggunakan sebagai alat untuk menilai perkerasan bandara. Administrasi bandara dan regulator ICAO setuju dengan perangkat lunak baru FAA pada tahun 2014, COMFAA yang memiliki perbedaan besar dalam nilai PCN dari versi sebelumnya. Untuk informasi lebih lanjut tentang penggunaan COMFAA pada pedoman AC 150/5335-5C, metode informasi kekuatan batas bandara standar-PCN, lihat buku tersebut.

Salah satu perbedaan utama antara perhitungan PCN menggunakan perangkat lunak COMFAA adalah terkait *Annual departure*. Dalam metode klasik, *Annual departure* semua pesawat yang beroperasi dikonversi pesawat kritis, sedangkan dalam COMFAA, semua pesawat di-input ke dalam perangkat lunak berdasarkan *Annual departure* dan beban. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa efek merusak pesawat terhadap kekerasan berbeda-beda tergantung pada karakteristik beban dan pergerakan pesawat.



Gambar 2.11 Tampilan Utama *Software* COMFAA



### 2.7.4.3 Metode Transport Canada

*Transport Canada* merupakan department pemerintah Canada yang bertanggung jawab atas pembuatan peraturan, kebijakan, dan layanan transportasi darat, kereta api, laut, dan udara di negara itu. Tabel yang diterbitkan oleh *Canadian Department of Transportation* dapat digunakan untuk menentukan ACN dengan Metode *Transport Canada*.

Tabel 2.24 Nilai ACN Pesawat *Transport Canada*

<i>Aircraft Classification Numbers (ACN's)</i>										
<i>Aircraft</i>	<i>Weight Max/min (kN)</i>	<i>Tire Pressure (MPa)</i>	<i>Flexible Pavement Subgrades CBR</i>				<i>Rigid Pavement Subgrades k (MPa/m)</i>			
			<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Vr Low</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Ult Low</i>
			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
			<b>15</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>150</b>	<b>80</b>	<b>40</b>	<b>20</b>
B747-100SR	2690 1600	1.04	36 19	38 20	46 22	64 29	29 16	35 18	43 21	50 25
B747-200B, 200C, 200F, 200M	3720 1750	1.38	55 22	62 23	76 26	98 34	51 20	61 22	72 26	82 30
B747-300, 300M, 300SR	3720 1760	1.31	55 22	62 23	82 27	98 34	50 19	60 22	71 25	82 30
B747-400, 400F, 400M	3905 1800	1.38	59 23	66 24	47 26	105 35	54 20	65 23	77 27	88 31
B747-400D (Domestic)	2729 1782	1.04	36 22	39 23	47 26	65 34	30 18	36 20	43 24	51 29
B747-SP	3127 1500	1.26	45 18	50 19	61 21	81 28	40 16	48 18	58 21	67 25
B757-200 Series	1134 570	1.24	34 14	38 15	47 17	60 23	32 13	39 15	45 18	52 20
B757-300	1200 640	1.24	36 16	41 17	51 20	64 27	35 15	42 17	49 21	56 24
B767-200	1410 800	1.31	39 19	42 20	50 23	58 29	34 18	41 19	48 22	56 26
B767-200 ER	1726 830	1.31	50 20	56 21	68 24	90 31	45 18	54 20	64 24	74 27
B777-300	1566 860	1.38	44 21	49 22	59 25	79 33	40 19	48 22	57 25	65 29
B767-300 ER	1784 890	1.38	53 22	59 23	72 26	94 35	48 20	57 23	68 26	78 31
B777-200	2433 1400	1.38	51 25	58 27	71 31	99 43	40 23	50 23	65 28	81 35
B777-200 ER	2822 1425	1.38	63 25	71 27	90 32	121 44	53 23	69 25	89 31	108 39
B777-200 X	3278 1600	1.38	78 29	90 32	114 38	148 53	61 27	80 27	104 34	126 43
B777-300	2945 1600	1.48	68 30	76 32	97 38	129 53	54 27	69 28	89 35	109 43

(Sumber: *Transport Canada*, 2019)

## 2.8 Pelapisan Ulang *Runway (Overlay)*

Pelapisan ulang (*overlay*) adalah upaya yang dilakukan saat sebuah perkerasan rusak karena beban berlebih sehingga membutuhkan penguatan untuk melayani pesawat dengan beban lebih tinggi. *Overlay* digunakan saat terjadi genangan parah karena pengendapan tidak merata atau karena rancangan yang sudah usang. *Overlay* dapat diperbaiki kerusakan pada lapisan permukaan, meningkatkan kualitas laluan dan drainase permukaan, juga berfungsi untuk meningkatkan *integritas* drainase permukaan, juga berfungsi untuk meningkatkan *integritas structural* dari suatu perkerasan. Berbagai tipe lapisan ulang didefinisikan sebagai berikut (Kristiawan, 2017):

1. Pelapisan ulang  
perkerasan adalah suatu jenis perkerasan lentur atau kau yang tebal, yang diadakan di atas perkerasan yang sudah ada sebelumnya
2. Pelapisan ulang beton semen *portland*  
Pelapisan ulang suatu perkerasan yang dibuat dengan beton sement *Portland*
3. Pelapisan ulang *barbitumen*  
Pelapisan ulang yang sebagian besar terdiri dari permukaan *berbitumen*.
4. Pelapisan ulang lentur  
Pelapisan ulang yang terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan pondasi atas dan lapisan permukaan yang terbuat dari *bitumen*.

### 2.8.1 Pelapisan Ulang Metode FAA

Prosedur-prosedur perencanaan pelapisan ulang dikembangkan oleh *Corps of Engineers* dalam FAA. Prosedur tersebut didasarkan pada hasil dari pengujian skala penuh bersama-sama dengan penelitian perilaku pelapisan ulang dalam kenyataan.

#### 2.8.1.1 Pelapisan Ulang tipe Lentur pada Perkerasan Lentur

Tebal perkerasan yang diperlukan untuk beban roda yang baru dihitung dengan mengabaikan perkerasan yang ada. Tebal lapisan ulang lentur adalah selisih antar tebal perkerasan yang ada dan tebal yang dihitung. FAA mengizinkan perubahan ketebalan lapisan ulang yang diperlukan berdasarkan kondisi perkerasan yang sudah ada dan bersifat bahan yang digunakan untuk lapisan ulang. *Corps of*

*Engineers* mengajukan ketebalan minimum pelapisan ulang 4 inch dan FAA menganjurkan tebal lapisan ulang minimum untuk menambahkan kekuatan adalah 3 inch.

### 2.8.1.2 Pelapisan Ulang Beton pada Perkerasan Beton Semen *Portland*

Baik *Corps of Engineers* maupun FAA, dalam menentukan pelapisan ulang pelat beban dapat digunakan rumus berikut:

$$h_c = \sqrt[1.4]{h^{1.4} - Ch_e^{1.4}} \quad (2.8)$$

Atau

$$h_c = \sqrt{h^2 - Ch_e^2} \quad (2.9)$$

dengan:

- $h_c$  = Tebal pelat pelapisan ulang, inch
- $h_c$  = Tebal pelat yang ada, inch
- $h$  = Tebal pelat tunggal ekivalen yang diletakan langsung di atas tanah dasar dengan tegangan izin sama seperti untuk pelat pelapisan ulang, inch
- $C$  = koefisien yang tergantung pada kondisi perkerasan yang sudah ada; dimana

$C = 1$ , perkerasan yang sudah ada dalam kondisi baik, 0,75 apabila perkerasan yang sudah ada mempunyai retakan titik awal akibat beban, tetapi bukan merupakan retakan-retakan yang *progresif*, 0,35 apabila perkerasan yang sudah ada rusak berat (pelapisan ulang tidak dianjurkan)

Rumus-rumus tersebut menganggap bahwa mengingat bahwa kekuatan tentur badan yang diperlukan untuk lapisan ulang sebanding dengan kekuatan lentur beban yang diperlukan untuk perkerasan yang sudah ada. Untuk perencanaan, koefisien  $c$  tidak digunakan untuk perencanaan. Perubahan tebal lapisan ulang biasanya kira-kira 1 inch, dengan perubahan  $c$  berkisaran dari 1,0 hingga 0,75 hingga 0,035. Meskipun kekuatan lentur beton lapisan ulang tidak ditemukan dalam rumus-rumus tersebut, tetap diperhitungkan Ketika menentukan tebal pelat tunggal

ekivalen yang setara dengan h. kekuatan lentur pelat yang sudah ada tidak diperhitungkan karena perbedaan kekuatan lentur yang signifikan antara dua perkerasan akan menyebabkan perubahan tebal yang sangat kecil.

### 2.8.2 Pelapisan Ulang Metode ICAO

Pelapisan ulang pada bandara diperlukan karena berbagai macam alasan. Ada kelebihan muatan yang dapat menyebabkan perkerasan yang digunakan rusak. Diantaranya, lapisan ulang diuraikan menjadi 4:

1. *Overlay Pavement*
2. *Bituminous Pavement*
3. *Concrete Overlay*
4. *Sandwich Pavement*

Dalam melakukan pelapisan ulang perlu diperhatikan beberapa hal, antara lain:

1. Jalan yang melandai sementara  
Setelah perkerasan aspal *hot mix* pada pelapisan ulang selesai, diperlukan jalan yang melandasi untuk menghubungkan jalan pelapisan ulang yang baru dengan perkerasan. Namun, jika ketebalan pelapisan ulang hanya 4 cm atau kurang, hal ini tidak diperlukan.
2. Pencahayaan pada perkerasan
3. *Runway markings*.

## 2.9 Peramalan Pergerakan Pesawat (*Forecasting*)

*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 (Juliati, 2022).

Metode yang akan digunakan oleh penulis yaitu metode *Least Square*. Analisis regresi sederhana, juga dikenal sebagai *least square*, adalah metode yang efektif

dan mudah untuk menghitung rata-rata perubahan variabel dependen yang memiliki hubungan dengan peningkatan unit dalam jumlah salah satu atau variable independent. Hubungan linier yang terbaik dapat ditemukan dengan menggunakan metode *least square* yang meminimalkan jumlah *error* kuadrat data yang dihasilkan oleh fungsi matematika. Karena perhitungan yang lebih teliti, metode ini paling sering digunakan untuk meramal  $y$ . persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6) akan digunakan untuk menentukan persamaan garis *trend*.

$$Y' = a + bx \quad (2.10)$$

$$a = (\Sigma Y) / n \quad (2.11)$$

$$b = (\Sigma XY) / \Sigma X^2 \quad (2.12)$$

Dimana,

$Y$  = Data berkala (*time series*) = taksiran nilai *trend*

$Y'$  = Variabel mencari hasil peramalan

$a$  = Nilai *trend* pada tahun dasar

$b$  = Rata-rata pertumbuhan nilai *trend* tiap tahun

$x$  = Variabel waktu (hari, minggu, bulan, atau tahun)

$n$  = Jumlah data riil

untuk melakukan perhitungan, maka diperlukan nilai tertentu pada variable waktu ( $x$ ) sehingga jumlah nilai variable waktu adalah nol atau  $\Sigma x = 0$ . Untuk  $n$  ganjil maka:

1. Jarak antar dua waktu diberikan nilai satu satuan
2. Diatas 0 diberi tanda negatif
3. Dibawahnya diberi tanda positif

Untuk  $n$  genap maka:

1. Jarak antar dua waktu diberi nilai dua satuan
2. Diatas 0 diberi tanda negatif
3. Dibawah 0 diberikan tanda positif