

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Peramalan Statistik**

##### **2.1.1 Definisi dan Tujuan Peramalan**

Peramalan lalu lintas udara adalah memperkirakan kemungkinan pertumbuhan lalu lintas udara yang akan terjadi kedepannya menggunakan data lalu lintas udara yang sudah ada sebelumnya sehingga perkiraan yang didapatkan mendapatkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan nilai aslinya yang ada di lapangan. Dalam melakukan peramalan lalu lintas udara terdapat metode atau cara yang beragam dimulai dengan cara yang sederhana maupun menggunakan cara yang lebih rumit dengan cara analisa matematis. Berbagai macam cara tersebut akan mendapatkan hasil yang beragam dengan kemungkinan kesalahan terkecil hingga yang terbesar tergantung sebanyak apa variabel yang digunakan. Dalam pemilihan metode harus dilihat faktor-faktor lain seperti data yang diperlukan, kecanggihan teknik yang digunakan, dana yang diperlukan, waktu peramalan, dan ketepatan hasil yang diinginkan.

Beberapa metode peramalan yang dapat digunakan antara lain adalah peramalan dengan pertimbangan, peramalan kecenderungan, analisis pasar, dan pemodelan ekonometrik. Yang akan dijelaskan pada sub bab berikut

##### **2.1.2 Metode Peramalan Dengan Pertimbangan (*Forecasting by Judgement*)**

Metode peramalan dengan pertimbangan disebut juga dengan metode Delphi. Metode Delphi menggunakan cara peramalan dengan mengumpulkan sekumpulan pakar dalam bidang tertentu yang kemudian diminta untuk menilai atau menyusun skala prioritas dari sekumpulan pertanyaan atau proyeksi melalui teknik survey. Hasil survey tersebut kemudian dibagikan kepada anggota kelompok dan diberikan kesempatan kepada setiap anggota untuk menilai kembali penelitian

semula berdasarkan pada penilaian kolektif kelompok tersebut. Tahap penilaian itu seringkali diulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Dalam metode Delphi, hasil metode itu tidak harus mencerminkan konsekuensi kelompok, dan kenyataannya hasil yang didapat akan menghasilkan nilai yang paling banyak dipilih oleh mayoritas orang dan terdapat hasil yang berbeda dalam kelompok sehingga dibutuhkan kesimpulan.

Kelemahan dari metode ini adalah tidak adanya ukuran-ukuran statistik yang menjadi dasar hasil tersebut, kecuali dalam kondisi paling nyata untuk mendapatkan suatu konsensus penting sehubungan dengan prestasi yang diharapkan dari faktor-faktor yang membicarakan penjelasan masa depan.

### **2.1.3 Metode Peramalan Kecenderungan (*Trend Extrapolation*)**

Ekstrapolasi didasarkan pada pengujian historis suatu kegiatan dan menganggap bahwa faktor tersebut yang menentukan variasi-variasi tertentu pada kegiatan lalu lintas pada masa lalu dan akan terus menunjukkan variasi-variasi yang serupa di masa mendatang. Persentase ini menggunakan data tipe rangkaian waktu dan menganalisis pertumbuhan dan laju pertumbuhan yang dihubungkan dengan data masa lalu seperti pada data pertumbuhan lalu lintas udara. Dalam pelaksanaannya kecenderungan berkembang dalam situasi dimana laju pertumbuhan suatu peubah adalah stabil baik secara mutlak ataupun persentase, terdapat laju pertumbuhan yang meningkat atau menurun secara berangsur atau berkala dalam satuan waktu. Teknik-teknik statistic digunakan untuk membantu dalam menentukan keandalan dan rentang yang diharapkan dalam kecenderungan yang diekstrapolasi.

Terdapat beberapa tipe ekstrapolasi, termasuk diantaranya ekstrapolasi kecenderungan linier. Dalam keadaan apapun variabel yang diperkirakan akan dilukiskan dalam kertas grafik dan dibuat penetapan hubungan fungsional yang mungkin di antara variabel tersebut. Diantara beberapa metode peramalan kecenderungan adalah sebagai berikut:

1. Ekstrapolasi Linear Teknik ini digunakan untuk pola permintaan yang menunjukkan suatu hubungan linear historis dengan variabel

waktu. Hubungan yang mendasarinya mungkin diamati konstan atau berubah dalam pola teratur, atau siklus.

2. Ekstrapolasi Ekspensial Untuk keadaan dimana variabel yang tergantung pada yang lain memperlihatkan suatu laju pertumbuhan yang konstan terhadap waktu, biasanya ekstrapolasi ekspensial. Gejala ini sering terjadi dalam dunia penerbangan untuk proyeksi-proyeksi tingkat kegiatan yang telah memperlihatkan kecenderungan jangka panjang meningkat atau menurun dengan suatu persentase tahunan rata-rata.
3. Kurva-kurva Logistik Dalam keadaan dimana laju pertumbuhan tahunan rata-rata secara berangsur-angsur mengalami penurunan sesuai dengan waktu, maka sebaiknya digunakan kurva logistik untuk menganalisis kecenderungan. Dengan timbulnya pasar penerbangan, sering terdapat periode awal dengan pertumbuhan tahunan yang berangsur-angsur meningkat, periode pertengahan dengan pertumbuhan yang konstan dan periode akhir dimana laju pertumbuhan berkurang pada suatu titik ketika telah terjadi kejenuhan pasar.

Dalam perhitungannya biasanya digunakan metode dengan kurva yang berbeda-beda yang ditunjukkan dalam nilai matematis, dan rumus matematika. Bentuk kurva ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah. Variabel yang diperlukan adalah lalu lintas ditunjukkan sebagai variabel Y, variabel waktu T, dan a, b dan c adalah konstanta (koefisien). Nilai dari setiap grafik adalah sebagai berikut:

1. Linear (garis lurus)

$$Y = a + bT$$

Menunjukkan nilai pertumbuhan yang konstan

2. Ekspensial

$$Y = a(1 + b)^T$$

$$\log Y = \log a + T \log(1 + b)$$

Dengan nilai  $b$  positif atau biasanya kurang dari satu, menunjukkan bahwa persentase lalu lintas tahunan meningkat setiap nilai 100b. rumus eksponensial dapat ditunjukkan dalam bentuk rumus linear.

### 3. Parabola

$$Y = a + bT + cT^2$$

Dengan 3 konstanta menunjukkan bentuk kurva yang bervariasi. Nilai  $c$  lebih besar dari 0, pertumbuhan yang terjadi pada kurva berdasarkan nilai waktu dan mengalami penurunan berdasarkan nilai waktu.

### 4. Gompertz

$$Y = ab^{-cT}$$

$$\log Y = \log a - C^T \log b, \quad 0 < c < 1$$

Dapat digunakan dalam peramalan dengan periode waktu yang sangat lama.

## 2.2 Bandar Udara

### 2.2.1 Pengertian Bandar Udara

Horonjeff (1994) menjelaskan bahwa bandar udara merupakan fasilitas dimana pesawat terbang dapat lepas landas dan mendarat. Suatu Bandara minimal memiliki sebuah landasan pacu, sedangkan untuk bandara besar biasanya dilengkapi berbagai fasilitas lain baik untuk operator layanan penerbangan maupun bagi pengunanya seperti bangunan terminal dan hangar.

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 intra dan antarmoda transportasi,yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya. (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Bidang Penerbangan).

### 2.2.2 Fungsi Bandar Udara

Bandar udara memiliki fungsi menunjang kelancaran, keamanan dan ketertiban arus lalu lintas pesawat udara, kargo dan/atau pos, keselamatan penerbangan, tempat perpindahan intra dan/atau moda serta mendorong perekonomian baik daerah maupun secara nasional (Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. SKEP/77/VI/2005 Tentang Persyaratan Teknis Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara).

Abubakar (2000) menjelaskan bahwa transportasi udara mempunyai fungsi ganda, yaitu sebagai unsur penunjang (*servicing sector*) dan unsur pendorong (*promoting sector*). Peran transportasi udara sebagai unsur penunjang dapat dilihat dari kemampuannya menyediakan jasa transportasi yang efektif dan efisien untuk memenuhi kebutuhan sector lain, sekaligus juga berperan dalam menggerakkan dinamika pembangunan.

Sebagai unsur pendorong, transportasi udara juga sudah terbukti mampu menjadi jasa transportasi yang efektif untuk membuka daerah terisolasi dan juga melayani daerah-daerah serta pulau-pulau terpencil. Tersedianya transportasi yang dapat menjangkau daerah pelosok termasuk yang ada di perbatasan, dapat memicu produktivitas penduduk setempat tentunya juga pendapatan pemerintah.

Adapun peran langsung transportasi udara dalam masalah pertahanan dan keamanan juga sangat banyak. Salah satunya adalah digunakannya radar penerbangan sipil untuk membantu radar militer yang saat ini belum mampu mengawasi seluruh wilayah udara Indonesia.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 1996 tentang Kebandarudaraan, fungsi bandar udara adalah sebagai berikut:

- a. Simpul dalam jaringan transportasi udara sesuai dengan hierarki fungsinya.
- b. Pintu gerbang kegiatan perekonomian nasional dan internasional.
- c. Tempat kegiatan alih moda transportasi.

### 2.2.3 Fasilitas Bandar Udara

Sebuah bandar udara terdiri atas fasilitas transportasi yang luas dan kompleks, serta dirancang untuk melayani pesawat, penumpang, kargo dan kendaraan lainnya. Masing-masing pengguna bandara tersebut ini dilayani berdasarkan komponen yang berbeda di bandar udara. Komponen bandar udara secara umum terbagi menjadi dua kategori, yaitu:

1. Komponen sisi udara (*airside*), bandar udara dirancang dan dikelola untuk mengakomodasi pergerakan pesawat di sekitar bandar udara, maupun saat menuju dan kembali dari udara yang terdiri dari, *runway*, *taxiway*, dan *apron*
2. Komponen sisi darat (*landside*), bandar udara dirancang dan dikelola untuk mengakomodasi pergerakan *ground based vehicles* (kendaraan didarat), penumpang dan kargo yang terdiri dari, terminal penumpang, terminal kargo, bangunan operasi dan fasilitas penunjang bandar udara.

Terminal bandar udara dirancang untuk memfasilitaskan pergerakan penumpang dan barang dari *landside* menuju pesawat di *airside*. Komponen akses darat bandar udara mengakomodasikan pergerakan kendaraan di darat dari dan menuju sekitar area perkotaan.

### 2.2.4 Klasifikasi Bandar Udara

Dalam kegiatan perancangan, bandar udara diklasifikasikan berdasarkan pesawat yang dapat dilayani. Di bandar udara terdapat berbagai pesawat dengan lebar yang bervariasi, mulai dari pesawat kecil (*small general aviation*) hingga pesawat besar (*heavy air transport aircraft*).

Bandar udara dirancang dan didesain berdasarkan pesawat kritis (*critical*) atau dari pesawat rencana (*design*). FAA (*Federal Aviation Administration*) menjelaskan bahwa pesawat kritis, yaitu pesawat yang setidaknya beroperasi sebanyak 500 kali atau lebih di bandar udara selama satu tahun. Dalam banyak kasus, lebih dari satu pesawat kritis dipakai untuk tujuan perancangan bandar udara.

Horonjeff (1994) mendefinisikan klasifikasi bandar udara ditentukan berat dari pesawat terbang, hal ini penting untuk menetapkan tebal perkerasan *runway*, *taxiway* dan *apron*, panjang *runway* lepas landas dan pendaratan pada suatu bandara. Bentang sayap dan panjang badan pesawat mempengaruhi ukuran *apron* parkir, yang akan mempengaruhi susunan gedung-gedung terminal. Ukuran pesawat juga menentukan lebar *runway*, *taxiway* dan jarak antara keduanya, serta mempengaruhi jari-jari putar yang dibutuhkan pada kurva-kurva perkerasan.

Horonjeff (1994) juga menyatakan bahwa panjang *runway* mempengaruhi sebagian besar daerah yang dibutuhkan di suatu bandara. Selain berat pesawat, konfigurasi roda pendaratan utama sangat berpengaruh terhadap perancangan tebal lapis keras. Pada umumnya konfigurasi roda pendaratan utama dirancang untuk menyerap gaya-gaya yang ditimbulkan selama melakukan pendaratan (semakin besar gaya yang ditimbulkan semakin kuat roda yang digunakan), dan untuk menahan beban yang lebih kecil dari beban pesawat lepas landas maksimum. Dan selama pendaratan berat pesawat akan berkurang akibat terpakainya bahan bakar yang cukup besar.

### **2.2.5 Jenis-Jenis Bandar Udara**

Menurut peraturan direktur jenderal perhubungan udara No. SKEP/77/VI/2005 tentang Persyaratan Teknis Bandar Udara, bandar udara berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Bandar udara yang merupakan simpul dalam jaringan transportasi udara sesuai dengan hierarki fungsinya yaitu bandar udara pusat penyebaran dan bukan pusat penyebaran.
2. Bandar udara sebagai pintu gerbang kegiatan perekonomian Nasional dan Internasional
3. Bandar udara sebagai tempat kegiatan alih moda transportasi.

Di Indonesia klasifikasi Bandar udara sesuai dengan keputusan Menteri Perhubungan No. 36 Tahun 1993 didasarkan pada beberapa kriteria berikut ini :

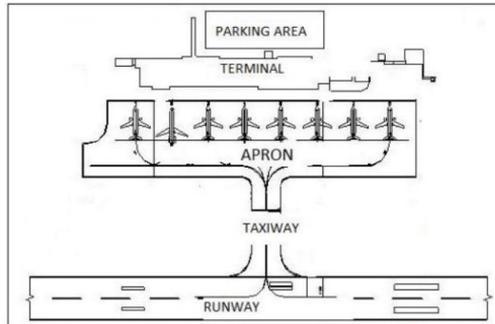
1. Komponen jasa angkutan udara
2. Komponen pelayanan keselamatan dan keamanan penerbangan

3. Komponen daya tampung bandara (landasan pacu dan tempat parkir pesawat)
4. Komponen fasilitas keselamatan penerbangan
5. Komponen status dan fungsi bandara dalam konteks keterkaitannya dengan lingkungan sekitarnya.

Di dalam UU No.1 Tahun 2009 tentang penerbangan, menyebutkan terdapat 6 jenis bandar udara, yaitu :

- a. Bandar Udara Umum, adalah bandar udara yang selalu digunakan untuk melayani kepentingan umum .
- b. Bandar Udara Khusus, adalah bandar udara yang hanya digunakan untuk melayani kepentingan sendiri dari kegiatan usaha pokoknya.
- c. Bandar Udara Pengumpul (*Hub*), adalah bandar udara yang mempunyai cakupan pelayanan luas dari berbagai bandar udara yang melayani penumpang dan/atau kargo dalam jumlah yang besar dan mempengaruhi perkembangan ekonomi secara nasional atau dari provinsi tertentu.
- d. Bandar Udara Pengumpan (*Spoke*), adalah bandar udara yang mempunyai cakupan pelayanan dan mempengaruhi dari perkembangan ekonomi terbatas.
- e. Bandar Udara Domestik, adalah bandar udara yang ditetapkan sebagai bandar udara yang melayani rute penerbangan dalam negeri
- f. Bandar Udara Internasional, adalah bandar udara yang ditetapkan sebagai bandar udara yang melayani rute penerbangan dalam negeri dan rute penerbangan dari dan ke luar negeri.

Secara umum bagian-bagian dari bandar udara dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Bagian-bagian Bandar Udara

### 2.3 Runway

*Runway* adalah area persegi di permukaan bandara (*aerodrome*) yang disediakan untuk *take off* dan *landing* pesawat, secara aman dan efisien dalam berbagai kondisi. Sebuah bandara dapat memiliki satu atau beberapa *runway*. Elemen dasar *runway* meliputi perkerasan yang secara structural cukup untuk mendukung beban pesawat yang dilewatinya, bahu *runway*, *runway strip*, landas pacu buangan panas mesin (*blast pad*), *Runway End Safety Area* (RESA), *stopway* dan *clearway*.

Kelengkapan data yang merupakan aspek dari penilaian meliputi diantaranya *runway designation* atau azimuth yang merupakan nomor atau angka yang menunjukkan penomoran landasan pacu dan kemiringan landasan pacu tersebut. Data ini merupakan data yang ditetapkan sejak awal perancangan dan pembangunan bandar udara tersebut. Bagian berikutnya adalah dimensi landas pacu yang meliputi panjang dan lebar landas pacu. Panjang landas pacu dipengaruhi oleh pesawat kritis yang dilayani, temperatur udara sekitar, ketinggian lokasi, kelembaban bandar udara, kemiringan landas pacu, dan karakteristik permukaan landas pacu. Fasilitas Landas Pacu ini

mempunyai beberapa bagian yang masing-masingnya mempunyai persyaratan tersendiri.

*Runway* merupakan salah satu fasilitas yang paling penting dalam bandar udara. Tanpa *runway* yang direncanakan dan dikelola dengan baik, pesawat tidak akan dapat menggunakan bandara. Dalam merancang *runway*, diatur secara ketat mengenai panjang, lebar, orientasi (arah), konfigurasi, kemiringan/kelandaian, dan ketebalan perkerasan *runway*. Selain itu, juga diatur mengenai daerah bandar udara di sekitar *runway* untuk memastikan bahwa tidak ada penghalang berbahaya yang dapat mencegah operasi pesawat secara aman.

ICAO (*International Civil Aviation Organization*) menyatakan bahwa pada sebuah landasan pacu harus memenuhi sebuah persyaratan operasional yang tertuang dalam *Annex 14* dari konvensi Chicago. Ditinjau dari aspek keselamatan persyaratan yang bersifat mutlak dan harus dipenuhi dalam perencanaan pembangunan bandar udara, yaitu :

#### 1. Persyaratan Teknis

##### a. Kemiringan *slope* yang terdiri dari:

- Kemiringan memanjang efektif maksimum 1%
- Kemiringan melintang efektif maksimum 1,5%
- Jarak perubahan antar kemiringan / *slope runway*, minimum 45m, disarankan jarak 100-300m, agar tidak bergelombang, perubahan kemiringan lebih halus dan nyaman.

#### 2. Persyaratan Operasional

##### a. Sudut pendaratan pesawat:

- 2% untuk pesawat jenis jet
- 4% untuk pesawat jenis baling-baling

##### b. Bidang transisi (*Transitional Slope*):

- 1:7 untuk pesawat jenis jet
- 1:5 untuk pesawat jenis baling-baling

- c. Bidang atas halangan (*obstruction limitation surface*) merupakan ruang udara diatas bandar udara yang dikontrol bandar udara, tempat pesawat udara menunggu giliran untuk mendarat.

Selain harus memenuhi persyaratan teknis dan operasional, bandar udara juga harus memiliki suatu nilai yang menunjukkan karakteristiknya, yaitu:

1. Daya dukung (*bearing capacity*) diuji dengan alat HWD
2. Kekesatan (*resistance*) diuji dengan MU meter, *grip tester*
3. Kekerasan (*roughness*) diuji dengan alat *profilometer*
4. Kerataan diuji dengan alat NAASRA (*National Association Of Australian State Road Authorities*).

### 2.3.1 Geomterik *Runway*

*Runway* harus dirancang dan harus disediakan untuk memungkinkan gerakan pesawat aman dan cepat, faktor dasar perencanaan *runway* meliputi beberapa hal, yaitu:

1. *Aerodrome Refrence Code* (ARC)

Klasifikasi landasan pacu ditentukan oleh model atau tipe pesawat terbang pemakainya. Setiap *runway* diberikan kode-kode, dimana kode tersebut akan dapat diketahui untuk landasan pacu yang dimaksud.

*Aerodrome refrence code* terdiri dari dua elemen, yaitu berupa angka dan huruf. Elemen angka berfungsi untuk menginformasikan ARFL (*aeroplane refrence field length*) yang mampu dilayani oleh suatu *runway*, sedangkan elemen huruf berfungsi untuk menginformasikan batas maksimal *wing span* (bentangan sayap) dan lebar bentangan roda pesawat yang boleh beroperasi di landasan pacu

2. *Runway Designation Number* (*azimuth*)

*Runway Designation Number* (*azimuth*), digunakan untuk penomoran pada landasan pacu, ICAO mengatur mengenai *runway designation number* yang merupakan *azimuth* dari *runway* dalam derajat dibagi

dengan sepuluh. *Azimuth* merupakan besar sudut mendatar antara nol derajat dengan titik/sasaran yang kita tuju, dalam hal ini titik yang dituju adalah garis tengah *runway*.

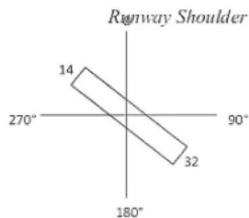
Dalam kasus *runway* sejajar (*parallel runway*), masing-masing *runway designation number* harus dilengkapi dengan huruf L (*left/kiri*), R (*right/kanan*) dan C (*center/tengah*), dilihat dari arah pendaratan.

- Untuk dua *runway* sejajar, digunakan : “L” “R”.
- Untuk tiga *runway* sejajar, digunakan : “L” “C” “R”.
- Untuk empat *runway* sejajar, digunakan : “L” “R” “L” “R”.

*Azimuth runway* dibulatkan menjadi puluhan derajat, contoh:

1°, 2°, 3°, 4° dibulatkan ke bawah

5°, 6°, 7°, 8°, 9° dibulatkan ke atas



( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP/29 tahun 2014 )

Gambar 2.2 *Azimuth Runway*

### 3. Dimensi (panjang dan lebar)

Pemilihan panjang dan lebar *runway* rencana merupakan salah satu keputusan yang paling penting untuk seorang perencana bandar udara. Berdasarkan panjangnya landasan pacu dapat ditentukan kelas bandar udara seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Kelas Bandar Udara Berdasarkan Panjang *Runway*

Elemen-1		Elemen-2		
KODE ARC	ARFL	KODE ARC	Wing Span	Main Gear Wheel Span
1	<800 meter	A	<15 meter	<4,5 meter
2	800 s/d < 1200 meter	B	15 s/d < 24 meter	4,5 s/d < 6 meter
3	1200 s/d < 1800 meter	C	24 s/d < 36 meter	6 s/d < 9 meter
4	$\geq$ 1800 meter	D	36 s/d < 52 meter	9 s/d < 14 meter
		E	52 s/d < 65 meter	9 s/d < 14 meter
		F	65 s/d < 80 meter	14 s/d < 16 meter

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Tabel 2.2 Kelas Bandar Udara Berdasarkan Lebar *Runway*

Kode Angka		Kode Huruf ARC					
ARC+ Klasifikasi		A	B	C	D	E	F
1	Non PAR	18 m	18 m	23 m	-	-	-
	PAR	30 m	30 m	30 m	-	-	-
2	Non PAR	23m	23 m	30 m	-	-	-

	PAR	30 m	30 m	30 m	-	-	-
3		30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4		-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Tabel tersebut menunjukkan bahwa tingkat lebar *runway* pesawat berdasarkan kelas bandar udara yang ditentukan berdasarkan panjang landasan pacu serta lebar sayap pesawat.

*Runway/RFL* ditentukan oleh pabrik untuk menunjang pesawat yang akan mendarat. Faktor yang mempengaruhi adalah:

- 1) Ketinggian Altitude, ARFL bertambah 7% setiap kenaikan 300 m dari permukaan laut.

$$F_e = 0,007 (h/300)$$

(2.1)

Faktor Koreksi Elevasi ( $F_e$ )

Aerodrome Elevasi ( $h$ )

- 2) Temperatur, ARFL bertambah 1% setiap kenaikan 1°C

$$F_t = 0,01 (T - 0,0065)$$

(2.2)

Faktor Temperatur ( $F_t$ )

Temperatur Aerodrome Elevasi ( $T$ )

- 3) Kemiringan landasan pacu, ARFL bertambah 10% setiap bertambah kemiringan.

$$F_s = 0,1 \times S$$

(2.3)

Faktor Koreksi Kemiringan ( $F_s$ )

Kemiringan ( $S$ )

$$\text{Panjang (terkoreksi)} = \text{ARFL} \times F_e \times F_t \times F_s$$

(2.4)

4. Slope Runway

Kemiringan terbagi menjadi dua yaitu, kemiringan melintang dan memanjang landas pacu, *slope* pada landasan pacu dapat terjadi pada arah memanjang yang disebut dengan *longitudinal slope*, dan pada arah melintang yang disebut dengan *transversal slope*.

Tabel 2.3 Kemiringan Melintang dan Memanjang *Runway*

Deskripsi	Kode Angka			
	1	2	3	4
Kemiringan Melintang				
Kode huruf A atau B	2%	2%	2%	2%
Kode huruf C,D atau E	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

## 5. Perkerasan *Runway*

Perkerasan dan kekuatan daya dukung landasan pacu, perkerasan landasan pacu terdiri dari dua macam jenis, yaitu:

### a. Perkerasan Lentur (*flexible*)

Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat elastis dimana perkerasan akan melendut saat diberi pembebanan. Perkerasa lentur terdiri dari lapisan *surface course*, *base course* dan *subbase course*. Masing-masing bisa satu lapis lebih, semuanya diaplikasikan di atas tanah asli yang dipadatkan yang disebut dengan *subgrade* (tanah dasar).

### b. Perkerasan Kaku (*rigid*)

Perkerasan kaku terdiri dari *slab* beton tebal 6-20 cm, diaplikasikan di atas lapisan yang telah dipadatkan, lebih baiknya apabila lapisan bawah beton dicampur dengan semen atau aspal setebal 10-15 cm, hal ini agar efek pompa bisa ditekan sekecil mungkin. Lapisan yang berdampingan di bawah

lapisan beton, terkadang disebut *subbase*, bukan *base course*, dikarenakan kualitasnya tidak perlu setinggi material yang ada di bawah lapisan *surface course* pada perkerasan lentur (*flexible*).

Salah satu penentu untuk kekuatan landasan pacu adalah kekuatan *subgrade*-nya. Kekuatan *subgrade* dibagi menjadi 4 kategori, yaitu:

- a. *High strength* (kekuatan tinggi)
- b. *Medium strength* (kekuatan sedang)
- c. *Low strength* (kekuatan rendah)
- d. *Ultra-low strength* (kekuatan sangat rendah).

Kategori kekuatan *subgrade* berikut dengan koefisien modulus Wastegaard dan CBR masing-masing kategori diberikan dalam Tabel 2.4

Tabel 2.4 Kekuatan *Subgrade* Landasan Pacu

Kategori Kekuatan <i>Subgrade</i>	Jenis Perkerasan	
	<i>Rigid Pavement</i>	<i>Flexible Pavement</i>
<i>High Strength</i>	$k = 150 \text{ MN/}$ $m^3$ mewakili semua $k \geq$ $120 \text{ MN/}m^3$	CBR = 15 mewakili  CBR > 13
<i>Medium Strength</i>	$k = 80 \text{ MN/}$ $m^3$ mewakili $60 \leq k \leq$ $120 \text{ MN/}m^3$	CBR = 10 mewakili $8 <$  CBR $\leq 13$
<i>Low Strength</i>	$k = 40 \text{ MN/}$ $m^3$ mewakili $25 \leq k \leq$ $60 \text{ MN/}m^3$	CBR = 6 mewakili $4 <$  CBR $\leq 8$

Kategori Kekuatan <i>Subgrade</i>	Jenis Perkerasan	
	<i>Rigid Pavement</i>	<i>Flexible Pavement</i>
<i>Ultra-low Strength</i>	$k = 20 \text{ MN/}$ $m^3$ mewakili $k <$ $25\text{MN}/m^3$	CBR = 3 mewakili CBR $\leq 4$

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

## 6. Runway Shoulder

*Runway Shoulder*, bahu landasan pacu harus disediakan untuk menjamin transisi antara *runway* dengan perkerasan penuh (*full strength pavement*) ke *runway strip* yang tanpa perkerasan. *Shoulder runway* melindungi tepi perkerasan *runway* dan juga membantu mencegah erosi tanah akibat *jet blast* (ledakan jet) serta menghindari *foreign damage object* (benda asing, seperti sampah atau kerikil) masuk ke dalam mesin jet.

Tabel 2.5 *Runway Shoulder*

<i>Code Letter</i>	Penggolongan Pesawat	Lebar <i>Shoulder</i>	Kemiringan Maksimum (%)
A	I	3	2,5
B	II	3	2,5
C	III	6	2,5
D	IV	7,5	2,5
E	V	10,5	2,5
F	VI	12	2,5

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

## 7. Runway Strips

*Runway Strips*, atau jalur strip landasan pacu merupakan perpanjangan *runway* yang bebas dari objek yang dapat membahayakan penerbangan dan disiapkan bagi pesawat yang tergelincir agar tetap aman. Bentuk *runway strips* dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 *Runway Strip*

Untuk penentuan dimensi (panjang dan lebar) dari *runway strip* dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 2.6

Tabel 2.6 Penentuan Dimensi *Runway Strip*

Uraian	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
Lebar minimum.						
• Landasan <i>instrument</i> (m)						
Pendekatan presisi	150	150	300	300	300	300
Pendekatan non-presisi	150	150	300	300	300	300
• Landasan <i>non-instrument</i> (m)	60	80	150	150	150	150
Panjang minimum						
• Landasan <i>instrument</i> (m)	80	80	150	150	150	150
• Landasan <i>non-instrument</i> (m)	60	60	150	150	150	150

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Untuk *slope* (memanjang dan melintang) dari *runway strip* dapat menggunakan dari Tabel 2.7

Tabel 2.7 Penentuan Kemiringan *Runway Strip*

Uraian	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
<i>Slope</i> memanjang (%):						
• Maksimum yang diratakan	2	2	1,75	1,75	1,75	1,75
• Perubahan maksimum tiap 30 m pada <i>strip</i> diluar ambang landasan	2	2	2	2	2	2
<i>Slope</i> melintang (%):						
• Maksimum yang diratakan	< 3	< 3	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
• Perubahan maksimum tiap 3 m pertama dari tepi landasan, bahu landasan	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
• Maksimum diluar bagian yang diratakan	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

## 8. Runway End Safety Area (RESA)

ICAO telah menyatakan bahwa tragedi pesawat udara yang mengalami kegagalan lepas landas (*undershooting*) atau kegagalan pendaratan hingga meluncur lebih (*overrunning*) telah menyebabkan kerusakan yang signifikan. Untuk mengurangi kerusakan tersebut, perlu untuk disediakan area tambahan di luar/ di ujung *runway strip*. Area ini dikenal sebagai *Runway End Safety Area*. RESA

dibutuhkan untuk disediakan di setiap ujung *runway strip* untuk seluruh *code number* 3 dan 4 serta untuk *code number* 1 dan 2 dengan *runway instrument*.

#### 9. Clearways

*Clearways*, merupakan kawasan bebas dari *obstacle (clear)* yang letaknya berada di ujung/akhir *take off run available (TORA)*. Panjang *clearways* tidak boleh melebihi dari setengah panjang TORA, dan lebar *clearways* merupakan perpanjangan dari lebar *runway* yang besarnya minimal 75m ke masing-masing sisi dari garis tengah *runway*.

Permukaan *clearways* tidak boleh dirancang melebihi bidang landai ke atas (*upward slope*) sebesar 1,25%, batas terbawah yang diizinkan merupakan garis horizontal. Tegak lurus terhadap bidang vertical yang terdapat di garis tengah *runway* dan melewati titik yang terdapat di garis tengah *runway* di ujung/akhir TORA.

#### 10. Runway Turn Pad

*Runway turn pad* merupakan lebar tambahan pada bagian tertentu dari landasan pacu, yang dibangun di ujung sebuah landasan pacu yang dapat difungsikan untuk pesawat berbalik arah 180-derajat dengan roda tetap berada di daerah perkerasan. *Runway turn pad* disediakan apabila pada ujung landasan pacu tidak dilengkapi dengan *taxiway* dan kode huruf pada ARL landasan pacu adalah D,E atau F.

Lebar *runway turn pad* harus direncanakan sedemikian rupa sehingga pada saat dilalui pesawat, jarak antara roda pesawat terluar dengan tepi *runway turn pad* masih pada *clearance* (jarak aman)

Tabel 2.8 Penentuan Panjang *Clearance*

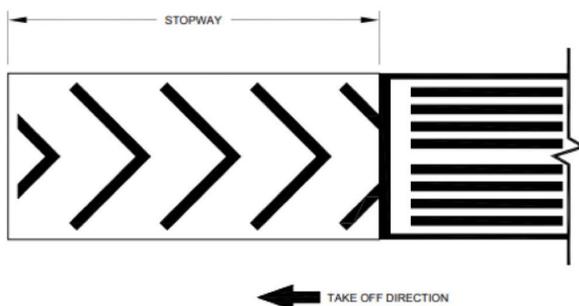
Kode ARL	<i>Clearance</i> roda pesawat terluar pada tepi <i>runway turn pad</i> (minimum)	Keterangan
A	1,5m	
B	2,25m	
C	3m jika <i>wheel base</i> kurang dari 18m	<i>Wheel base</i> adalah jarak antara roda depan ( <i>nose</i> )

Kode ARL	Clearance roda pesawat terluar pada tepi <i>runway turn pad</i> (minimum)	Keterangan
	4,5 jika <i>wheel base</i> lebih dari 18m	<i>wheel</i> ) dengan titik tengah antara roda utama ( <i>main gear</i> )
D	4,5m	
E, F	4,5m	Dengan mempertimbangkan pengaruh cuaca dan karakteristik gesekan, jarak dapat diperbesar menjadi 6m atau lebih

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

### 11. Stopways

*Stopways* merupakan kawasan yang berfungsi untuk pesawat udara yang membatalkan lepas landasnya (*aborted take off*). Bagian ini sangat jarang digunakan, namun tetap harus disediakan. Oleh karena itu ada toleransi bahwa konstruksi bagian ini tidak harus sekuat konstruksi landasan pacu.



Gambar 2.4 *Stopways*

Lebar *stopways* harus sama dengan lebar *runway* yang ada, dan kelandaian serta transisi dari *runway* ke *stopways* harus memenuhi spesifikasi *runway* yang ada, kecuali sebagai berikut.

1. Batasan 0,8% kelandaian untuk seperempat panjang *runway* ( $0,25L$ ) di awal dan akhir tidak perlu diaplikasikan di *stopways*.
2. Pada pertemuan antara *stopway* dan *runway* serta sepanjang *stopway*, radius lengkung minimum adalah 10.000m untuk *code number* 3 dan 4.

### 2.3.2 Jenis-Jenis *Runway*

Jenis-jenis *runway* dikelompokkan berdasarkan cara pengoperasiannya sebagai berikut, antara lain:

1. *Non-instrument Runway*

*Non-instrument runway*, merupakan landasan pacu yang hanya dipakai dalam keadaan cuaca bagus dan siang hari (terkait dengan faktor jarak pandang). Pilot harus dapat melihat sendiri situasi dan kondisi landasan pacu dengan baik. Dalam proses pendaratan pesawat udaranya, pilot hanya menggunakan prosedur yang disebut *visual approach procedur*.

2. *Instrument Runway*

*Intrument runway*, yaitu landasan pacu yang digunakan pesawat di mana pada proses pendekatan menuju landasan pacu dan proses pendaratannya pada landasan pacu pilot dibantu dengan berbagai alat bantu dan menggunakan prosedur yang disebut dengan *instrument approach procedure* yang dibagi menjadi 4 kategori yaitu:

- a. *Non precision approach runway*, merupakan *instrument runway* yang dilengkapi dengan alat bantu visual (*visual aid*) dan alat bantu elektronik (*non-visual aid*) sehingga pilot dapat melakukan pendekatan dengan cara *straight-in approach* (pendekatan dengan terbang lurus dan langsung menuju landasan pacu)
- b. *Precision approach runway I*, yaitu *instrument runway* yang dilengkapi dengan alat bantu visual dan ILS (*instrument landing system*) dan MLS (*microwave landing system*) untuk membimbing pesawat menuju landasan pacu sampai dengan ketinggian *decision height* 60m dan pada keadaan *visibility* tidak

kurang dari 850m serta *runway visual range* (jarak pandang di permukaan landasan pacu) tidak kurang dari 550m

- c. *Precision approach runway II*, merupakan *instrument runway* yang dilengkapi dengan alat bantu visual dan ILS atau MLS untuk membimbing pesawat menuju landasan pacu sampai dengan *decision height* 30m dan pada keadaan *runway visual range* tidak kurang dari 350m
- d. *Precision approach runway III*, merupakan *instrument runway* yang dilengkapi dengan alat bantu visual dan ILS atau MLS untuk membimbing pesawat menuju landasan pacu sampai dengan pesawat berada di permukaan landasan pacu.

## 2.4 Taxiway

*Taxiway* (landasan penghubung) adalah lajur 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).

### 2.4.1 Geometrik *Taxiway*

*Taxiway* harus dirancang dan harus disediakan untuk memungkinkan gerakan pesawat aman dan cepat, terdapat beberapa faktor penting dalam perencanaan *taxiway*, yaitu:

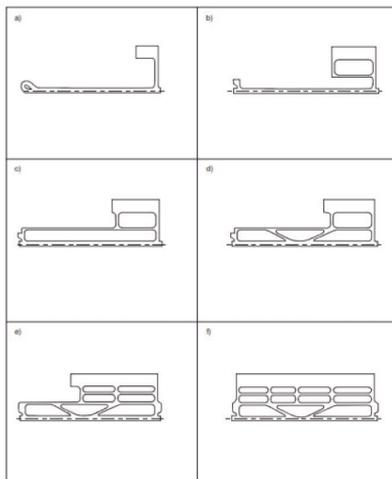
#### 1. Jarak Pergerakan Darat

Pergerakan darat (*taxiing*) suatu pesawat udara hendaknya dibatasi jarak tempuhnya, karena dapat memperpendek waktu pergerakan (mengheat bahan bakar/biaya) dan meningkatkan utilisasi dan keamanan pesawat udara sebab dari investigasi yang pernah dilakukan, diperoleh data bahwa pesawat udara yang bermuatan penuh dan melakukan *taxiing* sejauh 3-7km (tergantung jenis pesawat udara, jenis dan ukuran ban serta suhu lingkungan), suhu ban selama lepas landas dapat melebihi suhu kritis ini, sehingga resiko kerusakan roda pesawat menjadi meningkat. Jika terjadi kerusakan tersebut merupakan hal yang sangat serius karena dapat menggagalkan lepas landas dan tidak efektif

## 2. Sistem *Taxiway* yang Terikat dengan *Runway*

Terdapat beberapa sistem *taxiway* yang lebih efektif dan efisien tergantung dengan bentuk landasan pacu (*runway*) yang digunakan, diantara lain:

- a. Sistem *taxiway* untuk tingkat penggunaan landasan pacu yang rendah, sistem *taxiway* ini hanya terdiri dari atas *turn around pad* atau *taxiway turn around* pada kedua ujung landasan pacu dan *taxiway* penghubung antara *apron* dan *runway*
- b. Sistem *taxiway* untuk tingkat penggunaan landasan pacu sedang, sistem *taxiway* ini memberikan dukungan bagi pengoperasian landasan pacu dengan pemakaian pada tingkat sedang dapat ditambah dengan membangun parallel *taxiway* secukupnya, yaitu *taxiway* yang sejajar dengan landasan pacu dan dengan panjang secukupnya saja. Parallel *taxiway* ini dapat pula disambung ke *turn around* yang ada.
- c. Sistem *taxiway* untuk tingkat penggunaan landasan pacu padat, bagi pengoperasian landasan pacu dengan pemakaian pada tingkat padat, sistem *taxiway* dapat ditambah lagi dengan membangun parallel *taxiway* secara utuh di sepanjang landasan pacu
- d. Sistem *taxiway* untuk tingkat penggunaan landasan pacu jenuh, bagi pengoperasian landasan pacu yang jenuh, sistem *taxiway* dapat ditambah dengan membangun *exit taxiway*.



Gambar 2.5 Sistem *Taxiway*

### 3. Letak *Taxiway*

*Runway* dan *taxiway* merupakan bagian *aerodrome* yang paling tidak fleksibel dan keduanya menjadi perhatian pertama pada saat merancang dan membangun *aerodrome*. Dalam merencanakan tata letak sistem *taxiway*, secara umum prinsip berikut harus menjadi pertimbangan:

- a. *Entrance taxiway* dan *exit taxiway*, fungsi dari *exit* dan *entrance taxiway* adalah untuk meminimalkan waktu keberadaan pesawat udara di dalam *runway* (*runway occupation time*), dengan *exit taxiway* pesawat yang mendarat dapat segera keluar dari landasan pacu sehingga pesawat ini tidak harus berlama-lama berada pada landasan pacu dan pesawat udara lainnya dapat segera menggunakan landasan pacu tersebut. Perpotongan antara *exit taxiway* dengan landasan pacu dapat berupa sudut lancip maupun tegak lurus dan *entrance taxiway* cukup ditempatkan di salah satu atau kedua ujung landasan pacu dan sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan.

- b. Jalur *taxiway* yang menghubungkan berbagai elemen *aerodrome* harus dibuat pada jarak yang sependek mungkin sehingga *taxiing* dapat lebih dipersingkat dan dapat menghemat biaya. Dan sebisa mungkin *taxiway* dibuat untuk tidak memotong suatu *runway* atau *taxiway* lainnya, dengan tujuan menghindari terjadinya penundaan pergerakan darat dan untuk mencegah potensi kemungkinan terjadinya tabrakan antar pesawat udara.
  - c. Rute harus dibuat sesederhana mungkin untuk menghindari kebingungan pilot dan menghindari komplikasi instruksi-instruksi dari ATC.
  - d. Arah *taxiway* sebisa mungkin dibuat lurus. Jika arah *taxiway* harus berbelok, maka pada setiap belokan jari kelengkungan belokan harus cukup besar. Disamping itu, apabila terdapat belokan dalam jalur *taxiway* harus diberi fillet tambahan (*extra taxiway width*) sehingga memungkinkan pergerakan darat dilaksanakan semaksimal mungkin. Dan pada *taxiway* sebisa mungkin diperbanyak jalur satu arah pergerakan saja (*one way segment*), dengan tujuan menghindari penundaan pergerakan dan tabrakan antar pesawat.
  - e. Tata letak sistem *taxiway* harus mampu dikembangkan sesuai dengan kebutuhan di masa mendatang sehingga sistem *taxiway* yang sekarang dibangun tetap dapat dimanfaatkan atau dikembangkan, walaupun kondisi *aerodrome* banyak berubah.
  - f. *Bottle-neck* atau simpul kemacetan lalu lintas pada *taxiway* harus diidentifikasi sejak awal dan dihilangkan sejak masih dalam tahap perencanaan.
4. Lebar *Taxiway*

Bagian penuh dari *taxiway* harus memiliki lebar tidak kurang dari perhitungan berikut.

Tabel 2.9 Ketentuan Lebar *Taxiway* Menurut ICAO

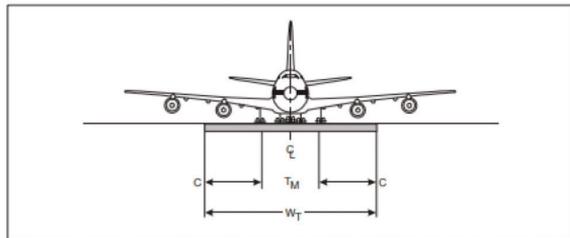
Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C	D	E	F

$x$	7,5m	10,5m	18m (a) 15m (b)	23m (c) 18m (d)	23m	25m
-----	------	-------	-----------------------	-----------------------	-----	-----

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Keterangan:

- Taxiway* yang ditujukan untuk digunakan oleh pesawat dengan *wheel base*  $\geq 18\text{m}$ .
- Taxiway* yang ditujukan untuk digunakan oleh pesawat dengan *wheel base*  $< 18\text{m}$ .
- Taxiway* yang ditujukan untuk digunakan oleh pesawat dengan *outer main gear wheel span*  $\geq 9\text{m}$
- Taxiway* yang ditujukan untuk digunakan oleh pesawat dengan *outer main gear wheel span*  $< 9\text{m}$ .



Gambar 2.6 Lebar *Taxiway*

Desain *taxiway* harus sedemikian rupa sehingga kokpit pesawat ketika berada di *taxiway*, tetap berada di marka garis tengah *taxiway*. *Clearance distance* (jarak bersih) antara bagian terluar dari roda utama dan tepi *taxiway* harus tidak kurang dari angka yang diberikan berikut ini.

Tabel 2.10 *Clearance Distance*

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C*)	D	E	F
<i>D<sub>min</sub></i>	1,5m	2,25m	3m/4,5m	4,5	4,5m	4,5m

Keterangan : \*) 3m, apabila *taxiway* ditujukan untuk digunakan oleh pesawat dengan *wheel base* < 18m. Dan 4,5m, apabila *taxiway* ditujukan untuk digunakan oleh pesawat dengan *wheel base*  $\geq$  18m.

Lebar *taxiway* juga dapat dihitung dengan rumus

$$WT = TM + 2C$$

Ket: WT = lebar *taxiway*

TM = jarak antara roda utama (bagian terluar) maksimum (dipilih dari berbagai pesawat udara yang dirancang akan menggunakan *taxiway*)

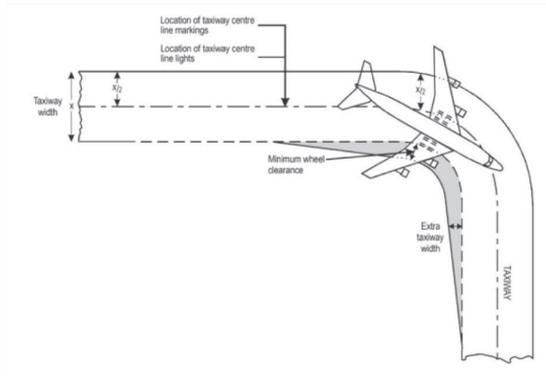
C = *clearance* (jarak aman) antara roda terluar dengan tepi *taxiway*.

Bila arah suatu *taxiway* harus berbelok, persyaratan *clearance* (jarak aman) roda pesawat terhadap tepi *taxiway* tetap berlaku. Pada titik belokan, apabila lebar *taxiway* tidak ditambah, *clearance* yang dipersyaratkan kemungkinan tidak dapat terpenuhi. Apabila dipersyaratkan bahwa kokpit pesawat udara harus tetap berada di garis tengah *taxiway* dan persyaratan *clearance* roda pesawat udara juga harus terpenuhi, maka lebar *taxiway* harus ditambah dengan suatu *fillet* yang juga disebut sebagai *extra taxiway width*.

Tabel 2.11 Radius Untuk Kurva *Taxiway*

Kecepatan <i>Taxi</i> Pesawat Udara (km/jam)	Jari-Jari Kelengkungan <i>Taxiway</i> (meter)
20	24
30	54
40	96
50	150
60	216
70	294
80	384
90	486
100	600

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )



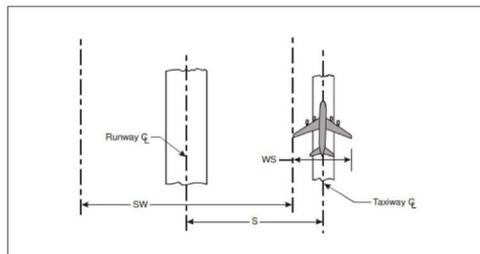
Gambar 2.7 Kurva Taxiway

Untuk mengoptimalkan pergerakan pesawat udara, pada setiap tempat perpotongan antara suatu *taxiway* dengan *runway*, antara *taxiway* dengan *apron*, atau antara kedua *taxiway*, lebar *taxiway* harus diberi *fillet* tambahan.

5. *Taxiway Minimum Separation Distances* (Jarak Pemisah *Taxiway* Minimum)

Jarak pemisah *taxiway* minimum terdapat 3 jenis, antara lain:

- Antara garis tengah *taxiway* dengan garis tengah *runway*
- Garis tengah antar-*taxiway* sejajar
- Garis tengah *taxiway* dengan objek lain



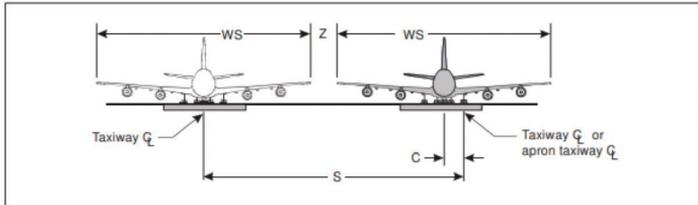
Gambar 2.8 Jarak Pemisah *Runway* dan *Taxiway* Sejajar

Menurut ICAO persamaan dari jarak pemisah antara *runway* dan *taxiway* sejajar dapat di rumuskan seperti ini.

$$S_{RT} = \frac{1}{2}(SW + WS)$$

dengan : SW = Lebar *runway strip*

WS = *Wing span* dari pesawat yang digunakan



Gambar 2.9 Jarak Pemisah Antara Dua *Taxiway* Sejajar

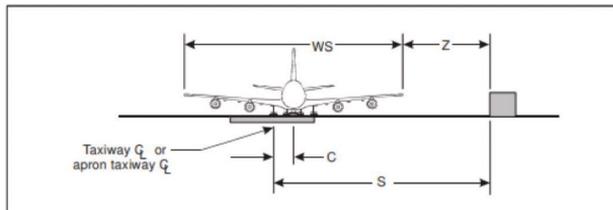
*Separation distance* (jarak pemisah) antara garis tengah dua *taxiway* sejajar menurut ICAO dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_{TT} = WS + C_{min} + z$$

dengan: WS = *wing span* dari pesawat yang digunakan

$C_{min}$  = *clearance* antara roda utama pesawat terluar dengan tepi *taxiway*

Z = jarak bersih minimum antar ujung sayap (*wingtip clearance*)



Gambar 2.10 Jarak Antara Garis Tengah *Taxiway* Dengan Suatu Objek Diluar *Taxiway*

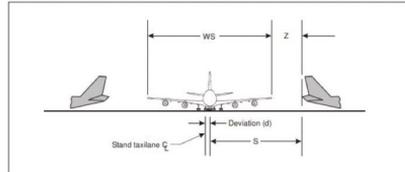
*Separation distance* (jarak pemisah) antara garis tengah *taxiway* atau garis tengah *apron* dengan objek tetap atau bergerak dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_{TO} = 0,5WS + C + z$$

dengan:  $W_S$  = *wing span* dari pesawat yang digunakan

$C$  = jarak aman antara roda terluar dengan tepi *taxiway*

$z$  = jarak aman antara tepi terluar sayap pesawat udara dengan suatu objek



Gambar 2.11 Jarak Antara Garis Tengah *Aircraft Stand Taxilane* Dengan Suatu Objek

*Seperation distance* (jarak pemisah) antara garis tengah *aircraft stand taxilane* dengan suatu objek dapat dihitung dengan memperhatikan gambar, dengan rumus:

$$S_{ATO} = \frac{1}{2}W_S + d + z$$

Dimana:  $W_S$  = *wing span* dari pesawat yang digunakan

$d$  = deviasi lateral, yaitu perbedaan yang terjadi bila kecepatan pesawat pada saat

berada di *taxilane* berbeda

$z$  = *wing tip clearance*

Tabel 2.12 *Wingtip Clearance, Wing Span, dan Deviasi Lateral*

Item	ICAO Aerodrome Refrence Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
<i>Wingtip clearance (z)</i>	7,25m	7,25m	5m	10m	10,5m	13m
<i>Wing span (Ws)</i>	15m	24m	36m	52m	65m	60m
Deviasi lateral (d)	1,5m	1,5m	2m	2,5m	2,5m	3m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

## 6. Slope Taxiway

*Longitudinal slopes* (Kelandaian Memanjang) maksimum yang diizinkan untuk *taxiway* ditunjukkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 *Slope Taxiway* Menurut ARCL

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
<i>Max Longitudinal slope of taxiway</i>	3%	3%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Apabila perubahan kelandaian (*slope changes*) di *taxiway* tidak dapat dihindari, transisi dari satu kelandaian ke kelandaian lain harus dicapai dengan kurva yang perubahannya tidak boleh melebihi berikut ini.

Tabel 2.14 Perpanjangan *Slope Taxiway*

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
<i>Change in slope (<math>\Delta g</math>)</i>	1% Per 25m	1% Per 25m	1% Per 30m	1% Per 30m	1% Per 30m	1% Per 30m
<i>Radius of curvature</i>	2.500m	2.500m	3.000m	3.000m	3.000m	3.000m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Jika perubahan kelandaian tidak dapat dihindari maka *sight distance* (jarak pandang) dengan ketinggian setidaknya X dari permukaan *taxiway*, jurus dapat melihat seluruh permukaan *taxiway* dengan jarak Y di depan titik tersebut.

Tabel 2.15 *Sight Distance*

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
X (m)	> 1,5m	> 2m	> 3m	> 3m	> 3m	> 3m
Y (m)	150m	200m	300m	300m	300m	300m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

*Transverse slopes* (kelandaian melintang) *taxiway* harus cukup untuk mencegah akumulasi genangan air di permukaan *runway*. *Transverse slopes maximum taxiway* ( $e_{max}$ ) tidak boleh melebihi dari berikut ini.

Tabel 2.16 *Transverse Slopes*

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
$e_{max}$	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

### 7. *Taxiway Shoulder*

*Taxiway Shoulder* merupakan penyangga *taxiway* yang bertujuan sebagai bidang peralihan dari *taxiway* (dengan kekuatan perkerasan maksimal) ke *taxiway strip*, yang berupa bidang tanah yang tidak dilapisi perkerasan. Fungsi utama dari *taxiway shoulder* adalah:

- Mencegah agar mesin pesawat yang berada di atas tepi *taxiway* tidak menghisap batu atau benda lain yang berpotensi merusak mesin pesawat udara.
- Mencegah terjadinya erosi tanah di sekitar *runway*.
- Sebagai bidang yang dalam keadaan tertentu akan diperlukan dan dilewati roda pesawat udara.

*Taxiway shoulder* disiapkan sebagai *obstacle-free area* (kawasan bebas hambatan) untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kerusakan pada pesawat yang jika dalam keadaan darurat atau terjadi kecelakaan pesawat terpaksa menggunakannya.

Tabel 2.17 Lebar *Taxiway Shoulder*

ICAO Aerodrome Reference Code Letter	Lebar total (termasuk lebar <i>taxiway</i> )	Keterangan
A & B	<i>No shoulder</i>	
C	$\geq 25\text{m}$	
D	$\geq 38\text{m}$	

E	$\geq 44\text{m}$	Lebar <i>shoulder</i> pada setiap sisi cukup 10,5m dengan lebar ini, posisi mesin masih berada di atas <i>shoulder</i>
F	$\geq 60\text{m}$	Lebar <i>shoulder</i> pada setiap sisi cukup 17,5m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

#### 8. *Taxiway Strip*

*Taxiway strip*, merupakan kawasan atau bidang di sekeliling *taxiway* (termasuk *taxiway* sendiri), berfungsi mengurangi resiko kerusakan pesawat udara, jika terjadi kecelakaan pesawat terpaksa melenceng keluar dari *taxiway* dan masuk ke kawasan ini.

*Taxiway strip* harus memiliki lebar dan kawasan *grading* yang ditentukan sesuai dengan pesawat udara yang sedang beroperasi paling banyak pada *taxiway* tersebut. *Grading of taxiway strip* (gradasi *taxiway strip*) merupakan kawasan dimana terdapat area datar yang dimana terdapat tanah yang dipadatkan sedemikian rupa sehingga mampu menahan roda pesawat tanpa menimbulkan kerusakan kepada roda pesawat dan terletak pada bagian tengah dari *taxiway strip* dengan masing-masing persyaratan pada tabel berikut.

Tabel 2.18 Panjang *Taxiway Strip*

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
<i>SWmin</i>	32,5m	43m	52m	81m	95m	115m
<i>Graded portion of taxiway strip</i>	22m	25m	25m	38m	44m	60m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Pada *taxiway strip* terdapat persyaratan objek, dimana objek yang dimaksud adalah seluruh benda bangunan atau instalasi peralatan navigasi penerbangan. Instalasi atau peralatan pada *area strip*, harus memiliki berat ringan mungkin dan permukaan tertingginya serendah mungkin serta dibuat dan dipasang untuk mudah patah (*fragibly*) dan ditempatkan sejauh mungkin dari *taxiway* serta sebisa mungkin peralatan navigasi *visual aid* yang berada paling dekat dengan *taxiway* dipilih jenis *flush mounted* (dipasang terbenam rata dengan permukaan tanah) dengan ketinggian maksimal 30 cm diatas permukaan tanah.

#### 9. Marka Pada *Taxiway*

Marka pada *taxiway* berbentuk *inscription* (tulisan, gambar atau tanda) yang diterakan pada permukaan suatu perkerasan, dimaksudkan untuk membimbing pergerakan pesawat yang melaluinya. Terdapat 5 jenis marka yang diterakan pada permukaan *taxiway*, yaitu:

- a. *Taxiway edge*
- b. *Runway holding position marking*
- c. *Taxiway centerline marking*
- d. *Enhanced taxiway centerline marking*
- e. *Taxiway shoulder marking*

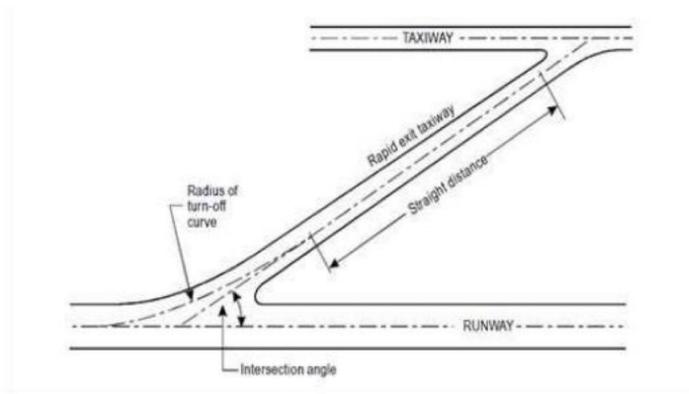
### 2.4.2 Jenis-Jenis *Taxiway*

Sesuai lokasinya terhadap *aerodrome*, *taxiway* ada yang berada di luar apron dan ada pula yang berada di dalam apron. Jenis-jenis *taxiway* ini adalah:

#### 1. *Entrance/exit taxiway*.

*Taxiway* ini berfungsi sebagai lintasan pesawat udara untuk masuk dan keluar dari landasan pacu.

#### 2. *Rapid exit taxiway*



Gambar 2.12 *Rapid Taxiway*

*Taxiway* ini terhubung dengan suatu landasan pacu dan perpotongannya dengan landasan pacu bersudut lancip sehingga memungkinkan pesawat udara yang mendarat segera keluar dari landasan pacu pada kecepatan yang relatif masih tinggi.

### 3. *Parallel taxiway.*

Posisi *taxiway* ini sejajar dengan landasan pacu dan berfungsi sebagai lajur lintasan pesawat udara menuju ujung landasan pacu sehingga penggunaan landasan pacu pada saat yang bersamaan tidak bergantung pada pesawat udara yang sedang menuju landasan pacu tersebut.

### 4. *By-pass taxiway*

*Taxiway* ini merupakan *taxiway* tambahan bagi *entrance taxiway*, yang posisinya tegak lurus dengan landasan pacu dan tidak berada di ujung landasan pacu tersebut dan landasan ini berfungsi untuk jalan pintas pesawat udara untuk masuk ke landasan pacu.

### 5. *Apron taxiway*

*Taxiway* jenis ini berada dalam suatu apron yang digunakan untuk tempat melintas pesawat udara pada apron tersebut.

### 6. *Aircraft stand taxiline*

*Taxiway* ini merupakan bagian dari suatu apron yang diperuntukkan sebagai lajur lintasan pesawat udara yang semata-mata sebagai cabang atau penghubung *apron taxiway* dengan tempat parkir pesawat udara.

## 2.5 *Apron*

*Apron* adalah bagian dari *land aerodrome* yang digunakan oleh pesawat udara untuk tempat parkir dan melakukan kegiatan bongkar muatan seperti penumpang dan barang yang diangkutnya, pengisian bahan bakar atau pemeliharannya. Suatu *apron* pada umumnya berupa lahan yang diberi lapisan perkerasan namun ada pula yang berupa tanah atau lapangan berumput.

### 2.5.1 Geometrik *Apron*

Banyak faktor yang harus dipertimbangkan ketika merancang *apron*. Faktor-faktor tersebut, antara lain:

#### 1. *Safetiness*

Aspek keselamatan dengan mempertimbangkan prosedur keselamatan pesawat sewaktu melakukan pergerakan. Dalam konteks ini, pesawat udara harus selalu berada pada jarak aman dengan objek lainnya (*clearance*), dan tidak melanggar prosedur pergerakannya pada saat memasuki atau keluar dari apron, serta ketika pesawat sedang melakukan pengisian bahan bakar.

*Apron* harus terpisah dari Gedung terminal atau objek lainnya pada jarak yang aman sehingga dapat mencegah penyebaran kebakaran bahan bakar di *apron* bila terjadi sesuatu. *Hydrant* atau *outlet* air harus tersedia dan ditempatkan pada setiap posisi parkir, untukantisipasi pemadaman bila terjadi kebakaran di *apron*.

Pesawat juga harus diamankan dengan melakukan sistem parkir pada lokasi dan jarak tertentu serta tidak dapat didekati atau dimasuki oleh orang yang tidak berhak atau tidak berkepentingan. Hal ini dilakukan dengan cara memisahkan secara fisik area public dengan *apron*.

#### 2. *Efficiency*

*Apron* harus dirancang untuk memberikan kontribusi atas pergerakan pesawat dan pelayanan jasa lainnya yang efisien pada *apron* bersangkutan.

Efisiensi tersebut diwujudkan dalam bentuk kemudahan bergerak, jarak aman, dan ketiadaan penundaan jadwal pergerakan pesawat udara.

Kebutuhan fasilitas atau instalasi pelayanan kepada pesawat pada setiap posisi parkir, yang telah dirancang dan dibangun sejak awal. Fasilitas ini diantaranya berupa saluran bahan bakar dan *hydrant*, sarana untuk *start engine* berupa peralatan penghasil udara bertekanan tinggi, sarana pengisian air bersih, sarana saluran pembuangan kotoran dan air limbah dari pesawat dan lainnya

### 3. Ketersediaan Lahan

Ketersediaan lahan merupakan salah satu aspek utama untuk melakukan perencanaan *apron*. Lahan yang telah tersedia mungkin merupakan kendala dalam pengembangan *apron*, baik dari konsep tata letak ruang dan konsep luasan yang akan dibangun, terutama bagi bandara yang sudah lama beroperasi

### 4. *Fleksibility*

Aspek fleksibilitas dalam perancangan suatu *apron* terdiri atas, pemilihan jenis pesawat udara sebagai dasar perancangan dan kemampuan pengembangan di masa mendatang. Dalam merancang suatu *apron* harus dilakukan keseimbangan di dalam pemilihan pesawat, ada yang merancang hanya satu pesawat jenis dan ada yang berbagai macam jenis pesawat rencana. *Apron* harus dirancang selain menjadi tempat parkir pesawat juga dapat memberi peluang untuk kepentingan pengembangannya pada masa yang akan datang. Oleh sebab itu sebaiknya pembangunan *apron* menggunakan konsep modular atau *apron* tumbuh.

### 5. Ukuran *Apron*

Ukuran *apron* yang dibutuhkan untuk suatu bandara bergantung pada faktor-faktor berikut.

#### a. Jumlah *aircraft stands* (tempat parkir penumpang)

*Aircraft stands* sangat bergantung pada pergerakan pesawat dan waktu yang dibutuhkan masing-masing pesawat parkir di *aircraft stand*. Menurut ICAO (1987) jumlah parkir pesawat yang dibutuhkan di terminal penumpang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\sum \left[ \frac{T_i}{60} \times N_i \right] + a$$

Dimana:

S = kebutuhan parkir pesawat

$T_i$  = *gate occupancy time* dalam menit untuk tipe pesawat  $i$

$N_i$  = jumlah kedatangan pesawat tipe  $i$  pada jam puncak

A = jumlah pesawat tambahan (ekstra)

Besar  $a$ :

$a = 1$  apabila  $N = 1-9$

$a = 2$  apabila  $N = 10-18$

$a = 3$  apabila  $N = 19-27$

b. *Gate Occupancy Time* (waktu dipakainya gerbang)

Jumlah *gates* (pintu gerbang) ditentukan dengan jumlah pergerakan pesawat per jam yang dapat dilayani. Jumlah *gates* yang dibutuhkan, bergantung pada jumlah pesawat yang dapat dilayani pada jam rencana dan waktu yang dibutuhkan pesawat untuk beraktivitas di *gates*. Waktu yang dibutuhkan pesawat untuk beraktivitas di *gates* disebut *gate occupancy time* dan bergantung pada ukuran pesawat dan tipe operasionalnya.

c. Dimensi *Apron*

*Aircraft stand* (tempat parkir pesawat) dirancang dengan mengikuti peraturan yang direkomendasikan oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*) dan FAA (*Federal Aviation Administration*). Ukuran *parking stand* harus dapat melayani arus lalu lintas maksimum yang diperlukan. Untuk itu diperlukan dimensi *apron* dalam merencanakan pengembangan *apron*.

Tabel 2.19 Dimensi *Apron*

ICAO <i>Aerodrome Reference Code Letter</i>	<i>Minimum Clearance</i>		
	<i>Between Aircraft Stand and Fixed or Movabel Objects (C)</i>	<i>Aircraft Stand Taxiline Centre Line to Object (B)</i>	<i>Apron Taxiway Centre Line to Object (A)</i>
A	3,0m	12,0m	16,25m
B	3,0m	16,5m	21,5m
C	4,5m	24,5m	26,0m

D	7,5m	36,0m	40,5m
E	7,5m	42,5m	47,5m
F	7,5m	50,5m	57,5m

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

*Minimum clearance between aircraft stand and fixed or movable objects* (C) adalah jarak bersih minimum yang disyaratkan antara dua pesawat yang berada di *parking stand*.

*Minimum clearance aircraft stand taxilane centre line to object* (B) adalah jarak bersih antara garis tengah *aircraft stand taxilane* terhadap objek.

*Minimum clearance apron taxiway centre line to object* (A) adalah jarak bersih antara garis tengah *apron taxiway* terhadap objek.

#### 6. *Size of Gate Position*

*Gate position* merupakan ruang atau posisi di *apron* untuk pesawat parkir saat penumpang naik dan turun serta bongkar muat. Ukuran dari *gate position* bergantung pada hal-hal berikut.

##### a. Dimensi dan *Turning Radius Minimum* Pesawat Udara

Dimensi pesawat udara ditentukan oleh panjang (L) dan lebar bentang sayap atau wing-span (S) pesawat udara. Selain menggunakan dimensi pesawat udara, perancangan suatu *apron* juga harus menggunakan karakteristik gerak dari pesawat udara (berputar atau berbelok) yang ditentukan oleh *turning radius* (R).

##### b. *In and out aircraft*

Cara pesawat untuk memasuki dan meninggalkan *gate position* dengan tenaganya sendiri atau dengan traktor pembantu.

##### c. *Aircraft parking configuration*

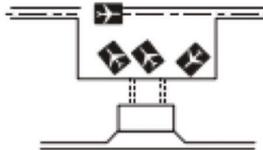
Terdapat 4 macam konfigurasi parkir pesawat, antara lain:

- 1) *Nose-in* (hidung pesawat masuk)
- 2) *Angle nose-in* (hidung pesawat masuk dengan sudut tertentu)
- 3) *Angle nose-out* (hidung pesawat keluar dengan sudut tertentu)
- 4) *Parallel* (sejajar)

#### 7. *Aircraft Parking System*

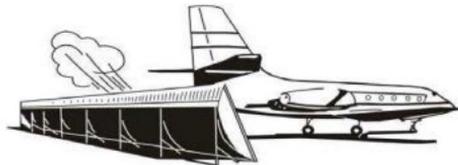
Desain terminal penumpang dan *apron* secara langsung berhubungan dengan konsep terminal penumpang. Beberapa konsep sering digunakan, antara lain :

a. *Simple concept* (konsep sederhana)

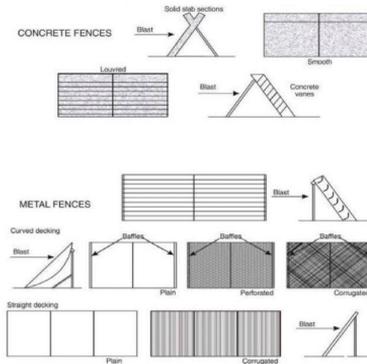


Gambar 2.13 Sistem Parkir Konsep Sederhana

Konsep ini diaplikasikan untuk bandar udara dengan volume lalu lintas pesawat yang rendah. Pesawat biasanya diparkirkan dengan sudut tertentu, baik dengan konfigurasi *nose-in* atau *nose-out*. Hal yang perlu diperhatikan dari konsep ini yaitu perlu disediakannya jarak bersih (*clearance*) yang cukup antara tepi *apron* dengan sisi depan terminal (yang berbatasan langsung dengan sisi udara) untuk mengurangi efek dari *jet engine blast* (semburan mesin jet) bila jarak bersih ini tidak dapat disediakan maka *jet engine blast fence* (pagar semburan mesin jet) harus disediakan.

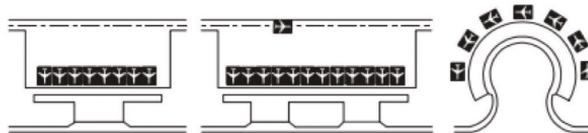


Gambar 2.14 *Jet Engine Blast*



Gambar 2.15 Jenis-Jenis Pagar *Jet Engine Blast*

b. *Linear Concept* (Konsep Linear)



Gambar 2.16 Sistem Parkir Linear dan Variasinya

Konsep linear merupakan lanjutan dari konsep sederhana, pesawat dapat diparkir dengan konfigurasi menyudut atau paralel. Konfigurasi parkir *nose-in/push out* dengan jarak bersih minimum (*clearance minimum*) antara tepi *apron* dan bangunan terminal adalah yang paling sering digunakan pada konsep ini karena lebih efisien dalam utilisasi *apron* serta penanganan pesawat dan penumpang

c. *Pier/ finger concept* (konsep dermaga/jari-jari)



Gambar 2.17 Sistem Parkir Konsep Dermaga/Jari-jari dan Variasinya

Konsep satelit terdiri dari bagian satelit yang dikelilingi *gate position* pesawat, yang terpisah dari Gedung terminal. Akses penumpang menuju satelit dari terminal biasanya melalui jalur bawah tanah ataupun di permukaan. Bergantung pada bentuk satelit, pesawat diparkir secara *radial* (memutar), *parallel* (sejajar), atau konfigurasi lainnya.

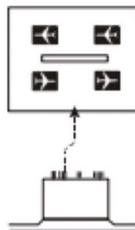
- d. *Satellite concept* (konsep satelit)



Gambar 2.18 Sistem Parkir Konsep *Apron* Terbuka

Konsep ini terdiri atas bagian satelit yang dikelilingi *gate position* pesawat yang terpisah dari Gedung terminal. Akses penumpang menuju satelit dari terminal biasanya melalui jalur bawah tanah maupun di permukaan. Bergantung pada bentuk satelit, pesawat diparkir secara *radial* (memutar), *parallel* (sejajar), atau konfigurasi lainnya. Ketika pesawat diparkir secara radial, pengoperasian *push-back* pesawat sangat mudah dilakukan, tetapi membutuhkan ruang *apron* yang lebih besar.

- e. *Transporter/open apron* (konsep terbuka)

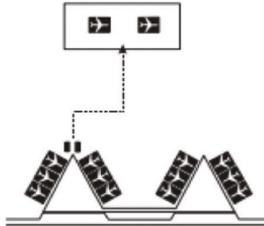


Gambar 2.19 Gambar Sistem Parkir *Apron* Terbuka

Konsep ini dikenal dengan konsep *remote apron* atau *transporter*. *Apron* dengan konsep ini diletakkan lebih dekat dengan *runway* dan terpisah dari Gedung terminal (*remote*) sehingga memiliki keuntungan

dalam penanganan pesawat (*aircraft handling*), seperti jarak pergerakan pesawat yang lebih pendek, manuver yang lebih mudah dan tanpa bantuan, serta pengembangan *apron* yang lebih luas dan fleksibel.

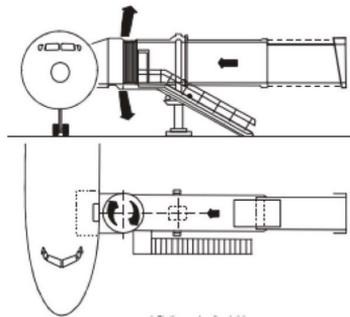
- f. *Hybrid concept* (konsep gabungan)



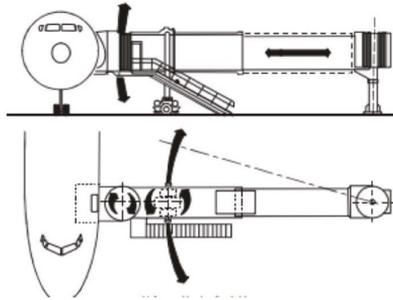
Gambar 2.20 Sistem Parkir Konsep Gabungan

Konsep gabungan merupakan kombinasi dari lebih satu konsep yang telah disebutkan sebelumnya. Konsep ini lazim digunakan, seperti menggabungkan *transporter* dengan konsep lainnya pada lalu lintas puncak.

#### 8. Konsep Penanganan Penumpang



Gambar 2.21 Jembatan yang Menetap



Gambar 2.22 Jembatan yang dapat digerakan

Metode penanganan penumpang harus dipertimbangkan ketika merencanakan *layout* (tata letak) *apron*. Pada konsep hubungan terminal dan *apron* yang memiliki terminal di tingkat yang lebih tinggi, dimungkinkan dikembangkan jembatan penghubung (*loading bridge*) sehingga penumpang dapat naik dan turun pesawat secara langsung. Terdapat dua tipe jembatan penghubung yang sering digunakan yaitu, *stationary loading bridge* (jembatan statis) dan *apron drive loading bridge* (jembatan fleksibel).

#### 9. Slope

*Slopes* (kelandaian) di *apron* harus cukup untuk mencegah akumulasi genangan air di permukaan *apron*, tetapi harus dijaga agar tetap dalam batasan persyaratan drainase yang diizinkan. Pada daerah *aircraft stand* (titik parkir), kelandaian maksimum tidak boleh melebihi 1%.

Khusus untuk kepentingan pengisian bahan bakar, diisyaratkan juga bahwa kedudukan pesawat harus datar, agar terdapat keseimbangan isi pada semua tangki bahan bakar yang ada pada pesawat. Oleh karena itu, pada daerah ini disarankan kelandaianya antara 0,5% sampai 1%.

### 2.5.2 Jenis-Jenis *Apron*

Pengelompokan jenis *apron* adalah berdasarkan fungsi utama atau rancangan peruntukannya. Sekalipun demikian, pada dasarnya jenis *apron* dapat digunakan untuk kepentingan sebagaimana definisi tersebut.

1. *Apron* untuk terminal pesawat.

*Apron* ini dirancang untuk pergerakan dan parkir pesawat udara, yang letaknya berdampingan atau terhubung langsung dengan fasilitas terminal penumpang, dan pada *apron* inilah penumpang masuk atau keluar dari pesawat udara.

2. *Apron* untuk terminal kargo.

*Apron* ini dirancang untuk pergerakan dan parkir pesawat udara yang khusus bermuatan kargo dan pos, dan letaknya berdampingan atau terhubung langsung dengan fasilitas terminal kargo.

3. *Apron* jauh (*remote apron*).

*Apron* ini merupakan *apron* tambahan dan terpisah dari Gedung terminal penumpang atau Gedung terminal kargo, namun fungsinya sama dengan *apron* untuk terminal penumpang atau terminal kargo.

4. *Apron* untuk hangar.

*Apron* ini adalah *apron* yang dirancang untuk pergerakan dan parkir pesawat udara, yang letaknya berdampingan atau terhubung langsung dengan hangar yaitu tempat penyimpanan dan pemeliharaan pesawat udara.

5. *Apron* untuk penerbangan khusus.

*Apron* ini adalah *apron* yang dirancang untuk pergerakan dan parkir pesawat udara pada penerbangan khusus, yang terpisah dan memiliki kriteria yang berbeda dengan *apron* untuk pelayanan pesawat udara pada umumnya.

6. *Helipad*.

*Helipad* pada suatu *aerodrome* merupakan daerah *apron* yang digunakan sebagai tempat mendarat dan lepas landas pesawat udara sayap putar atau helicopter.

## **2.6 Kapasitas Ruang Udara**

Kapasitas ruang udara adalah jumlah operasi pesawat maksimum yang dapat dilakukan pada suatu bandara selama jangka waktu tertentu. Dalam perkembangannya dari waktu ke waktu terjadi peningkatan dalam setiap aktivitas manusia tidak terkecuali dengan aktivitas yang berhubungan dengan perpindahan

manusia dan barang dan transportasi udara menjadi salah satunya dengan jumlah yang semakin bertambah tersebut timbul masalah baru yaitu tidak sesuai kapasitas yang tersedia dengan yang telah direncanakan maka diperlukan perhitungan ulang dengan data baru yang ada sehingga didapatkan kapasitas baru yang sesuai. Dalam perhitungan kapasitas ruang udara terdapat variabel waktu dengan periode tertentu. Kendala lain yang ada pada permasalahan lalu lintas udara adalah ketepatan waktu yang tidak sesuai yang direncanakan atau selalu ada. . Maka dalam kapasitas ruang udara dibagi menjadi dua jenis kapasitas yaitu :

1. Kapasitas Kejenuhan Maksimum (Maximum throughput capacity/saturation capacity) Adalah jumlah pergerakan pesawat terbang (take off dan landing) yang dapat dilakukan dalam satu jam pada runway tanpa melanggar regulasi ATM (Air Traffic Management), dengan asumsi adanya permintaan secara kontinyu.

2. Kapasitas Praktis per Jam (Practical hourly capacity) Adalah jumlah pergerakan yang dapat dilakukan dalam satu jam pada runway dengan waktu delay rata-rata adalah 4 menit, atau dengan nilai berkisar 80-90% dari kapasitas jenuh.

### **2.6.1 Kapasitas Runway**

Dalam menghitung kapasitas runway ada beberapa ukuran yang digunakan dalam mencari berapa banyak pergerakan pesawat yang terjadi di runway dalam satuan waktu tertentu baik itu keberangkatan maupun kedatangan (departure dan arrive). Ukuran-ukuran terdiri dari variabel yang berhubungan dengan operasional runway yang dimaksudkan untuk mendapatkan nilai yang valid atau sesuai dengan yang diinginkan.

Ukuran-ukuran terkait dengan kapasitas runway yaitu :

1. Pergerakan pesawat terbang
2. Jenis dan ukuran pesawat terbang yang beroperasi
3. Kapasitas kejenuhan maksimum
4. Kapasitas runway

Selain ukuran, hal lain yang berkaitan adalah faktor-faktor dalam kapasitas runway yaitu :

1. Jumlah dan geometrik runway

Pada perencanaan geometrik yang baik untuk sebuah runway maka dapat mempengaruhi kapasitas runway. Geometrik runway berpengaruh pada tingkat kebisingan yang terjadi pada runway, untuk meningkatkan kapasitas maka cara yang dilakukan adalah dengan menambah runway baru tetapi jika jarak antara runway terlalu dekat maka kedua runway hanya akan berfungsi masing-masing tidak bisa secara bersamaan karena faktor kebisingan. Maka diperlukan perencanaan geometrik yang baik untuk mengatasinya.

2. Spesifikasi pemisahan jarak antar pesawat oleh ATM sistem

Sistem ATM dimaksudkan untuk mengatur pemisahan minimum antar pesawat yang akan menggunakan runway, sistem ini mengatur berapa jumlah pesawat yang dapat beroperasi pada runway sehingga semakin baik sistem yang diterapkan maka efektifitas penggunaan runway akan meningkat. FAA mengklasifikasikan pesawat terbang menjadi 3 kelas berdasarkan dari MTOW.

- a. Kelas Heavy (H) (MTOW > 255.000 lbs (116 ton))
- b. Kelas Large (L) (41.000 (19 ton) < MTOW < 255.000 lbs (116 tons))
- c. Kelas Small (S) (MTOW < 41.000 lbs (19 tons)). Untuk Boeing 757 diklasifikasikan diantara kelas H dan L.
  - Pesawat yang berurutan harus dipisahkan dalam jarak tertentu dalam satuan mil, yang disajikan dalam bentuk tabel

Tabel 2.20 Jarak Antar Jenis Pesawat Udara

		Pesawat berada dibelakang		
		H	L	S
Pesawat berada didepan	H	4	5	5 / 6
	L	2,5 / 3	2,5 / 3	2,5 / 3
	S	2,5 / 3	2,5 / 3	2,5 / 3

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

- Pesawat yang masih berada diudara tidak bisa melakukan landing sebelumpesawat yang berada di depannya selesai di runway dan pesawat yang akan takeoff harus menunggu pesawat yang landing selesai di runway.

- Jarak antara kedatangan pesawat dipisahkan dalam satuan waktu (detik) pada tabel di bawah

Tabel 2.21 Jarak Waktu Antar Jenis Pesawat Udara

		Pesawat berada dibelakang		
		H	L	S
Pesawat berada didepan	H	90	120	120
	L	60	60	60
	S	45	45	45

\*untuk amannya pemisahan antar pesawat disarankan berjarak selama 120 detik

( Sumber : Peraturan Dirjen Perhubungan Udara No. KP 29 Tahun 2014 )

Apabila suatu landasan pacu hanya digunakan oleh satu jenis pesawat udara saja (homogen) dan diasumsikan bahwa ROT (dengan satuan detik) untuk proses lepas landas maupun proses pendaratan adalah sama, maka kapasitas maksimum suatu landasan pacu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Kapasitas Landasan Pacu} = 3600/\text{ROT} \text{ (pergerakan perjam) (2.23)}$$

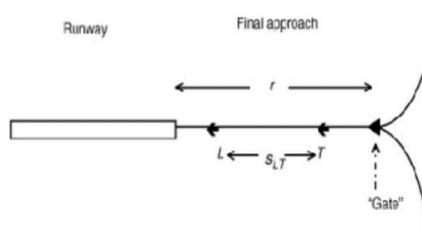
3. Kombinasi pesawat yang digunakan di bandara  
Kombinasi pesawat yang homogen atau jenis pesawat sama berpengaruh pada kapasitas runway, dengan jenis atau komposisi pesawat yang sama maka akan memudahkan sistem ATM dalam menyederhanakan pekerjaan pengendalian lalu lintas udara sehingga kinerjanya menjadi lebih efektif.
4. Penggunaan runway untuk kedatangan, keberangkatan, dan keduanya. Faktor lain yang mempengaruhi kapasitas runway adalah fungsi dari runway itu sendiri, fungsinya apakah berkaitan untuk

kedatangan, keberangkatan, dan keduanya secara bersamaan atau dilakukan secara terpisah. Jika penggunaannya dilakukan secara terpisah maka akan memudahkan dalam melakukan manajemen lalu lintas udara tetapi fungsi dari runway menjadi tidak optimal begitu juga sebaliknya sehingga mempengaruhi kapasitas dari runway.

## 2.6.2 Model Perhitungan Kapasitas *Runway*

Awal mula model perhitungan kapasitas *runway* secara matematis dibuat oleh Blumstein (1959). Model yang digunakan adalah menghitung kapasitas single runway untuk kedatangan pesawat yang kemudian dikembangkan untuk menghitung keberangkatan, kedatangan dan keduanya. Pada tahun 1960 FAA dan Laboratorium Instrumentasi Udara mengembangkan metode untuk menghitung kapasitas *runway* dengan melakukan pendekatan terhadap teori antrian.

Dalam melakukan pendaratan menuju *runway*, pesawat harus terlebih dahulu melakukan perlambatan dan kemudian menuju *runway* hingga keluar menuju *taxiway*. Saat melakukan pendaratan di *runway* posisi pesawat berada pada posisi gate yang biasanya berjarak antara 5-8 mil dari *runway* secara ke arah *runway*. Selain itu aturan-aturan keselamatan juga harus dipahami yaitu pesawat melakukan proses tersebut secara bertahap dan aman disaat tidak ada pesawat lain sudah selesai melakukan kegiatan *takeoff* dan *landing* di *runway*.



Gambar 2.23 Interval Waktu *Final Approach*

Untuk menghitung kapasitas *runway*, langkah awal yang harus dilakukan adalah dengan menghitung interval waktu yang terjadi di antara pesawat yang akan menggunakan *runway*, dengan menggunakan persamaan 2.24, gambar 2.2.

$$T_{ij} = \max \left[ \frac{r+S_{ij}}{v_j} - \frac{r}{v_j}, o_i \right] \text{ dimana } v_i > v_j \quad (2.24)$$

$$T_{ij} = \max \left[ \frac{S_{ij}}{v_j}, o_i \right] \text{ dimana } v_i < v_j \quad (2.25)$$

Dimana :

$r$  = Panjang jalur di *final approach* (5-8 mile)

$S_{ij}$  = Syarat pemisah minimum oleh ATC antara dua pesawat saat keduanya terbang

$v_i$  = Asumsi kecepatan pada *final approach*, pesawat terbang  $i$  menjaga kecepatannya konstan di sepanjang *final approach*

$o_i$  = Waktu *runway*, yaitu waktu pemakaian runway yang dilakukan oleh suatu pesawat

$T_{ij}$  = Interval waktu minimum antara kedatangan pesawat tipe  $i$  dan  $j$  yang menggunakan *runway*

$$E[T_{ij}] = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K P_{ij} \cdot T_{ij} \quad (2.26)$$

Dimana :

$P_{ij}$  = Probabilitas kejadian pesawat tipe  $i$  diikuti oleh pesawat tipe  $j$

$K$  = Jumlah kelas-kelas pesawat yang berbeda

$$t_{ij} = T_{ij} + b \quad (2.27)$$

$$E[t_{ij}] = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K P_{ij} \cdot T_{ij} \quad (2.28)$$

Dimana :

$t_{ij}$  = Interval waktu rata-rata semua kemungkinan pesawat  $i$  dan  $j$

$b$  = *Buffer time* yaitu waktu tenggat antar kedua pesawat (10 s atau 1/3 mil)

$P_{ij}$  = Probabilitas kejadian pesawat tipe  $i$  diikuti oleh pesawat tipe  $j$

$K$  = Jumlah kelas-kelas pesawat yang berbeda

$T_{ij}$  = Interval waktu minimum antara kedatangan pesawat tipe  $i$  dan  $j$  yang menggunakan *runway*

$$\mu = \frac{1}{E[t_{ij}]} \quad (2.29)$$

Dimana :

$\mu$  = Kapasitas maksimum

$E[t_{ij}]$  = Nilai perkiraan  $t_{ij}$

### 2.6.3 Pengaruh *Design* Pesawat Terbang dengan Panjang *Runway*

Sebuah pesawat terbang memiliki pengaruh terhadap desain *runway*, perkembangan pesawat yang semakin pesat mewajibkan pula pada perkembangan desain *runway*. Seperti pada hal kecepatan. Kecepatan memiliki peranan penting yaitu sebagai tingkat keekonomisan sebuah pesawat, dengan kecepatan yang tinggi waktu yang diperlukan untuk menerbangkan pesawat menjadi lebih singkat sehingga berpengaruh kepada komponen lain seperti bahan bakar dan ban pesawat. Kecepatan pesawat dipengaruhi oleh tipe sayap pesawat sesuai dengan tipe pesawat dalam hal ini di Indonesia umumnya menggunakan tipe pesawat jenis Boeing.

$$\text{Gaya Angkat} = \text{Berat} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_L$$

Dimana :

$\rho$  = Berat Jenis Udara

$V$  = Kecepatan Pesawat

$S$  = Luas Sayap Pesawat

$C_L$  = Koefisien Gaya Angkat

Dari rumus di atas dapat dilihat bahwa gaya angkat pesawat berpengaruh pada berat, kecepatan, dan jenis sayap pesawat. Untuk mendapatkan kecepatan yang cukup untuk mengangkat pesawat diperlukan jarak *runway* yang cukup pula, sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis pesawat yang dalam hal ini diwakili oleh berat pesawat, kecepatan pesawat ( $V$ ) dan luas sayap pesawat ( $S$ ) berpengaruh dengan panjang *runway*.

#### 2.6.4 Kapasitas *Apron*

Kapasitas *apron* dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah faktor *gate* yaitu tempat dimana pesawat parkir, faktor yang mempengaruhi kapasitas *apron* yaitu:

1. Jumlah dan tipe *gate* pada tiap grup
2. Ukuran *gate*
3. *Gate occupancy time*
4. *Lay out* parkir pesawat di setiap *gate*

Dimensi *apron* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.29 dan 2.30, untuk kebutuhan parkir pesawat berbeda untuk tiap tipe *gate*, dengan ukuran dimensinya dijelaskan pada gambar 2.3.

$$P = G.W + (G - 1).C + 2.P_b \quad (2.29)$$

$$l = P_b + W + C_b + C_w \quad (2.30)$$

Dimana :

- $P$  = Panjang *Apron*
- $G$  = Jumlah *Gate*
- $C$  = *Clearance*
- $P_b$  = Panjang Pesawat
- $l$  = Lebar Pesawat
- $W$  = Bentang Sayap
- $C_b$  = Panjang Service Road diambil 10 m
- $C_w$  = Jarak antara taxiway dan *apron* diambil 15 m

## 2.7 Volume Penumpang

Peramalan lalu lintas dan parameter jam puncak adalah faktor penting dalam perencanaan penerbangan. Faktor lainnya adalah pergerakan tahunan pesawat yang kemudian menentukan pergerakan pesawat pada periode puncak. Pada periode puncak kemudian akan didapatkan nilai rata-rata pergerakan per hari dari data tersebut akan mendapatkan data rata-rata pergerakan per jam yang kemudian akan dipakai pada perhitungan. Nilai dari pergerakan pesawat didapatkan dari peramalan dengan metode bermacam-macam yang sudah dijelaskan sebelumnya yang menggunakan data pergerakan pesawat sebelumnya, tetapi data tersebut hanya bertahan sebentar saja karena hanya bersifat peramalan.

Peramalan pergerakan pesawat didapatkan pada peramalan jumlah penumpang yang akan menggunakan pesawat dan mengasumsi jenis pesawat yang digunakan tetap atau sama maka hubungan antara variabel tersebut dapat dirumuskan:

$$\text{Pergerakan Pesawat} = \frac{\text{Jumlah Penumpang}}{\text{load factor} \times \text{aircraft size}}$$

Dimana:

*Load faktor* = Jumlah penumpang yang bisa dibawa/ jumlah tempat duduk pesawat

*Aircraft size* = Jumlah tempat duduk pada pesawat

Nasution (2004) volume penumpang (*volume traffic demand*), dari *volume traffic demand* dapat diketahui pola hubungan diantara rute-rute yang akan mempengaruhinya, yaitu sebagai berikut.

- a. Jumlah penerbangan dalam perjalanan
- b. Total penerbangan tiap hari
- c. Waktu keberangkatan pesawat
- d. Tipe pesawat yang digunakan

Menurut Wright (1989), untuk menghitung volume penumpang dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini:

- a. Rata - rata perbulan =  $0,08417 \times$  penumpang per tahun
- b. Rata – rata harian =  $0,03226 \times$  rata - rata perbulan
- c. Arus puncak harian =  $1,26 \times$  arus rata - rata harian
- d. Arus jam puncak =  $0,0917 \times$  arus puncak harian.