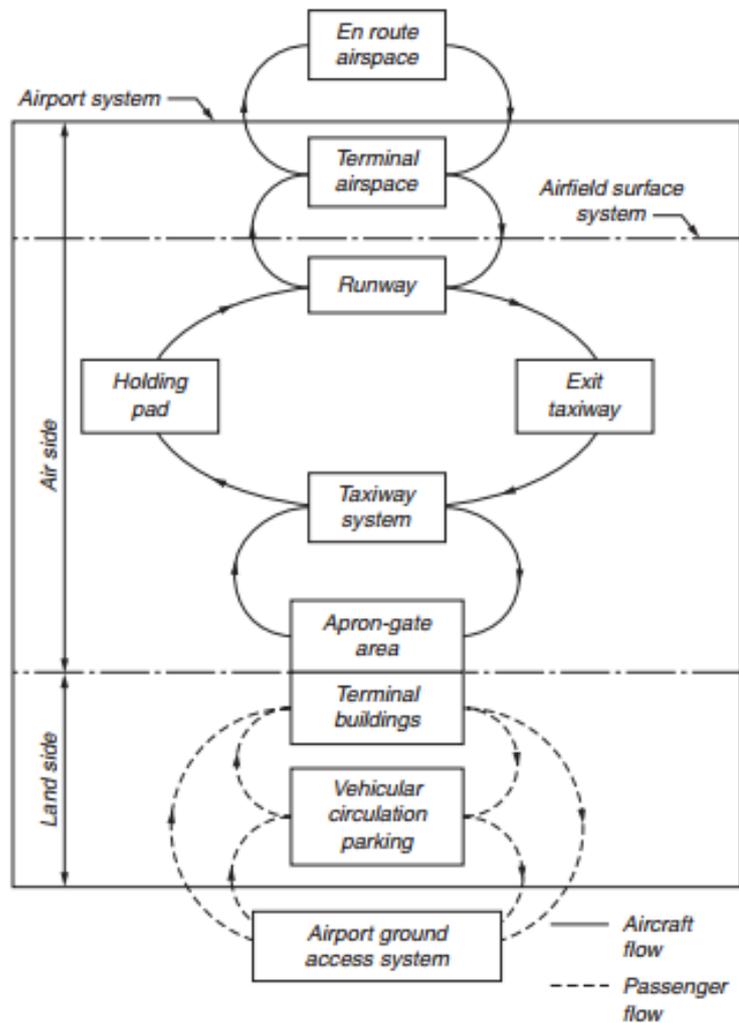


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Bandar Udara

Sebagai suatu komponen yang saling berkaitan satu dengan lainnya, bandar udara memiliki kebutuhan sistem yang berbeda-beda. Sistem bandar udara dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu sisi darat dan sisi udara.



Gambar 2.1 Sistem Bandar Udara

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

Dalam sistem bandar udara, karakteristik kendaraan baik di darat dan di udara memberikan pengaruh besar dalam perencanaan. Sistem bandar udara dari sisi darat terdiri dari sistem jalan penghubung, yakni jalan masuk bandara, lapangan parkir, dan bangunan terminal, sedangkan sistem bandar udara dari sisi udara terdiri dari *runway*, *taxiway*, dan *apron*.

Menurut Direktorat Jendral Perhubungan Udara (2019) menjelaskan bahwa dalam pembahasan mengenai bandar udara dikenal istilah-istilah sebagai berikut:

1. *Aerodrome*, kawasan tertentu di darat atau perairan (termasuk bangunan, instalasi, dan peralatan) yang dimaksudkan untuk digunakan seluruhnya atau sebagian untuk kedatangan, keberangkatan, dan pergerakan pesawat udara.
2. Bandar Udara, 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.
3. *Aeroplane Reference Field Length*, Panjang *runway* minimum yang diperlukan untuk lepas landas pada (maksimum massa lepas landas tersertifikasi) *MTOW*, rata dengan permukaan laut, kondisi atmosfer standar, udara diam dan kemiringan *runway* nol, seperti yang diperlihatkan pada manual penerbangan pesawat udara yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dalam memberikan sertifikasi atau data yang setara dari pabrik pesawat udara. Panjang *runway* yang dimaksud adalah panjang *runway*

yang sesuai untuk pesawat udara, jika berlaku, atau jarak lepas landas dalam kasus-kasus lain.

4. *Apron*, suatu area yang telah ditentukan, di sebuah bandar udara, yang diperuntukkan untuk mengakomodasi pesawat udara dalam menaikkan atau menurunkan penumpang, pos atau kargo, parkir atau pemeliharaan minor pesawat udara.
5. *Clearway*, Bidang persegi yang telah ditentukan di daratan atau permukaan air yang berada di bawah kendali pihak penyelenggara, yang ditentukan atau dipersiapkan dimana sebuah pesawat udara dapat melakukan *initial climb* untuk mencapai ketinggian tertentu.
6. *Landing Area*, Bagian dari daerah pergerakan yang diperuntukkan untuk pendaratan atau lepas landas pesawat udara.
7. *Runway*, Daerah persegi yang telah ditentukan di bandar udara untuk pendaratan atau lepas landas pesawat udara.
8. *Runway End Safety Area*, Sebuah daerah simetris di perpanjangan sumbu *runway* dan menyambung dengan akhir dari jalur primer diperuntukkan untuk mengurangi resiko kerusakan pada pesawat yang terlalu dini masuk atau melewati *runway*.
9. *Shoulder*, Daerah berbatasan dengan ujung perkerasan yang dibuat sedemikian rupa untuk memberikan transisi dari perkerasan ke permukaan di sebelahnya.
10. *Stopway*, Bidang persegi yang telah ditentukan di darat pada ujung jalur lepas landas yang dibuat sebagai daerah yang sesuai dimana sebuah pesawat

udara bisa berhenti ketika memutuskan untuk membatalkan lepas landasnya.

11. *Taxiway*, Jalur tertentu pada bandar udara di darat yang ditujukan untuk pesawat udara melakukan *taxi* dan ditunjukan untuk menjadi penghubung antara satu bagian bandar udara dengan lainnya.

## **2.2 Klasifikasi Lapangan Terbang**

Klasifikasi lapangan terbang dibuat dengan tujuan untuk menetapkan standar perencanaan geometri bagi berbagai ukuran lapangan terbang dan fungsi pelayanannya. Terdapat dua jenis klasifikasi yakni menurut ICAO (*International civil aviation organization*) dan FAA (*Federal Aviation Administration*). ICAO membuatnya dalam kode huruf dan kode nomor, sedangkan FAA membaginya berdasarkan kelompok pesawat.

Untuk memberikan bantuan kepada para perancang bandara dan menyeragamkan proses desain fasilitas bandara untuk operasi pesawat, pedoman desain telah disusun oleh FAA dan ICAO.

### **2.2.1 Klasifikasi Menurut ICAO**

Pada ICAO, Digunakan kode dua elemen yakni *aerodrome reference code* untuk mengklasifikasikan standar desain geometrik di bandara. ICAO berusaha memfasilitasi penyeragaman dan keselamatan pada level internasional. Kode elemen terdiri dari numerik dan abjad.

Kode *aerodrome* yang berupa nomor terdiri dari 1 sampai 4 yang mengklasifikasikan panjang landasan pacu yang tersedia, yaitu *Reference field length*. *Reference field length* adalah panjang *runway* minimum yang diperlukan

untuk lepas landas pada (maksimum massa lepas landas tersertifikasi) MTOW, rata dengan permukaan laut, kondisi atmosfer standar, udara diam dan kemiringan *runway nol*, seperti yang diperlihatkan pada manual penerbangan pesawat udara yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dalam memberikan sertifikasi atau data yang setara dari pabrik pesawat udara. Sedangkan kode *aerodrome* yang berupa huruf A sampai huruf E mengklasifikasikan bentang sayap dan jarak antar roda utama pendaratan terluar untuk pesawat rencana suatu bandara. *Aerodromes reference code* dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 ICAO *Aerodromes reference code*

<i>Code Element 1</i>		<i>Code Element 2</i>		
Code Number	<i>Aeroplane Reference Field Length</i>	<i>Code Letter</i>	<i>Wing Span</i>	<i>Outer Main Gear Wheel Span</i>
	(m)		(m)	(m)
1	< 800	A	< 15	< 4,5
2	800 - < 1200	B	15 - < 24	4,5 - < 6
3	1200 - < 1800	C	24 - < 36	6 - < 9
4	> 1800	D	36 - < 52	9 - < 14
		E	52 - < 65	9 - < 14
		F	65 - < 80	14 - < 16

Sumber: (*International civil aviation organization*, 2006)

### 2.2.2 Klasifikasi Menurut FAA

FAA mendefinisikan istilah pesawat kritis sebagai kriteria pesawat yang paling menentukan perencanaan bandar udara. FAA membagi dengan menggunakan 2 kode, yakni kode abjad menunjukkan kategori pendekatan kecepatan pesawat dan kode numerik menunjukkan kategori ketinggian dan lebar sayap pesawat. Sistem penomoran tersebut berdasarkan pada *Aircraft approach category* dan *airplane design group* yang ditujukan kepada pesawat tertentu.

Tabel 2.2 *Aircraft approach category*

<i>AAC</i>	<i>Approach Speed (knots)</i>
A	< 91
B	91 - < 121
C	121 - < 141
D	141 - < 166
E	> 166

Sumber: (Federal Aviation Administration, 2014)

*Airplane design group* adalah pengelompokan pesawat berdasarkan bentuk sayap atau tinggi ekor pesawat seperti yang ditampilkan pada tabel 2.3. ADG dari suatu pesawat ditentukan dari nilai yang lebih besar antara bentuk sayap dan tinggi dari ekor pesawat.

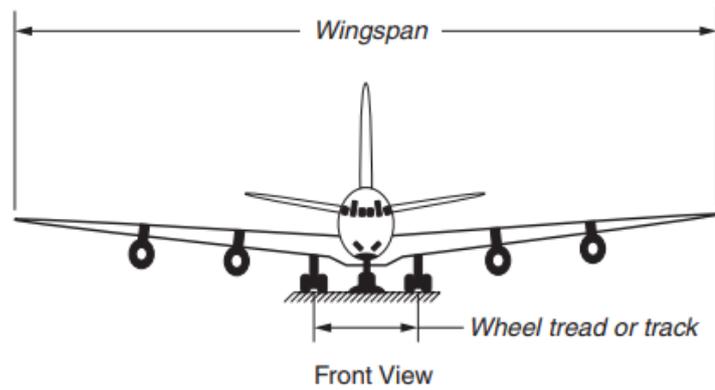
Tabel 2.3 *Airplane design group*

<i>Group</i>	<i>Tail Height (ft)</i>	<i>Wingspan (ft)</i>
I	< 20'	< 49'
II	20' - < 30'	49' - < 79'
III	30' - < 45'	79' - < 118'
IV	45' - < 60'	118' - < 171'
V	60' - < 66'	171' - < 214'
VI	66' - < 80'	214' - < 262'

Sumber: (Federal Aviation Administration, 2014)

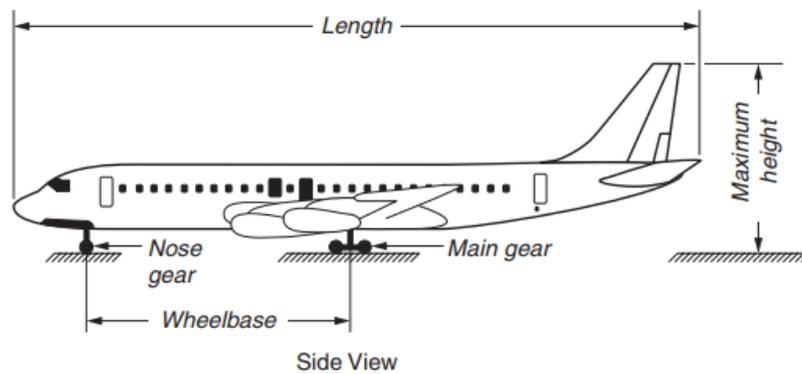
### 2.3 Karakteristik Pesawat Terbang

Dimensi sebuah pesawat terbang memberikan pengaruh dalam merencanakan dan merancang sebuah bandar udara. Panjang pesawat digunakan untuk menentukan panjang area parkir pesawat, sedangkan lebar pesawat digunakan untuk menentukan lebar area parkir pesawat, serta menentukan lebar dan jarak pemisah landasan pacu dan landasan hubung di lapangan terbang. Dalam perencanaan geometrik sisi udara bandara, karakteristik pesawat berikut harus diperhatikan.



Gambar 2.2 Dimensi Pesawat Udara Tampak Depan

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)



Gambar 2.3 Dimensi Pesawat Udara Tampak Samping

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

Tabel 2.4 Karakteristik Pesawat

<i>Aircraft Make</i>	<i>Model</i>	<i>Code</i>	<i>Aeroplane Reference Field Length</i>	<i>Wing Span</i>	<i>Outer Main Gear Wheel Span</i>
			(m)	(m)	(m)
Boeing	B747-400	4E	2890	64,9	12,6
	B777-300	4E	3140	60,9	12,9
	B777-300ER	4E	3120	64,8	12,9
Airbus	A380	4F	3350	79,8	14,3

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

### 2.3.1 Berat Pesawat

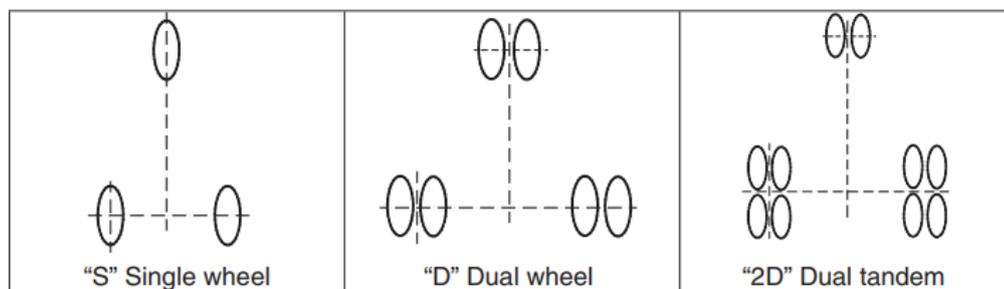
Menurut Basuki (1986) Berat Pesawat digunakan untuk menentukan tebal lapis keras landasan yang dibutuhkan. Terdapat 6 macam pengertian berat pesawat yaitu:

1. *Operating weight empty*, adalah berat dasar pesawat, termasuk didalamnya *crew*, dan peralatan pesawat yang biasa disebut "*No Go Item*" tetapi tidak termasuk bahan bakar dan penumpang.
2. *Pay load*, adalah produksi muatan yang membayar, diperhitungkan menghasilkan pendapatan bagi perusahaan. termasuk didalamnya penumpang, barang, surat-surat, paket-paket, *excess* bagasi.
3. *Zero fuel weight*, adalah batasan berat, spesifik pada tiap jenis pesawat, diatas batasan berat itu tambahan berat harus berupa bahan bakar.
4. *Maximum Ramp weight*, adalah berat maksimum pesawat diizinkan untuk *taxi*. pada saat pesawat *taxiing* dari *apron* menuju ujung landas pacu dia berjalan dengan kekuatannya sendiri, membakar bahan bakar sehingga kehilangan berat.
5. *Maximum landing weight*, adalah berat maksimum pesawat pada waktu mendarat. selama penerbangan pesawat akan kehilangan berat dengan dibakarnya bahan bakar.
6. *Maximum take-off weight*, adalah berat maksimum pesawat termasuk *crew*, berat pesawat kosong, bahan bakar, *pay load* yang diizinkan oleh pabrik untuk pesawat lepas landas.

### 2.3.2 Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Pesawat

Selain berat pesawat faktor lainnya yang mempengaruhi dalam penentuan tebal lapisan perkerasan landasan antara lain konfigurasi roda pesawat. Konfigurasi roda pesawat udara meliputi jenis konfigurasi, jumlah kaki roda, jumlah roda pada setiap kaki, serta prosentase beban pada roda utama (*main gear*). Menurut Basuki (1986) untuk merencanakan kekuatan landasan, dianggap bahwa 5% beban diberikan kepada *nose gear*, sedangkan 95% diberikan kepada *main gear*.

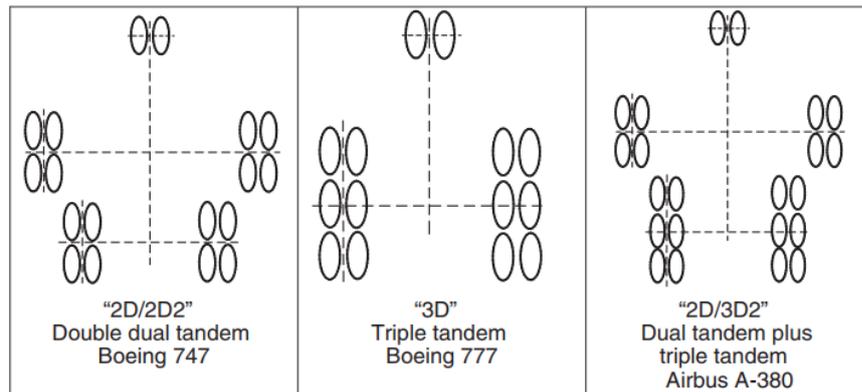
Konfigurasi roda pesawat udara pada umumnya terdiri dari sumbu tunggal roda tunggal (*single wheel*), sumbu tunggal roda ganda (*dual wheel*), sumbu ganda roda ganda (*dual tandem gear*), dan sumbu ganda roda *double ganda* (*double dual tandem gear*). Berikut merupakan contoh konfigurasi roda beserta beberapa tipe pesawat.



Gambar 2.4 Konfigurasi Roda Dasar

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

Konfigurasi roda pada pesawat komersial yang berukuran sangat besar berkembang menjadi jauh lebih kompleks dibandingkan dengan konfigurasi dasar. Konfigurasi yang lebih kompleks ini dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Konfigurasi Roda Kompleks

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

## 2.4 Konfigurasi Bandar Udara

Pada tugas akhir ini, konfigurasi bandar udara untuk fasilitas sisi udara yang ditinjau mencakup landasan pacu (*runway*), landasan hubung (*taxiway*) dan tempat parkir pesawat (*Apron*). Penempatan ketiga komponen tersebut perlu direncanakan sehingga lokasinya memberikan kemudahan dalam kegiatan operasional pesawat.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perencanaan geometrik landasan pada lapangan terbang diantaranya:

1. Karakteristik dan ukuran pesawat terbang yang direncanakan menggunakan bandar udara.
2. Kondisi klimatologi (temperatur).
3. Kemiringan elevasi permukaan tanah.
4. Ketinggian dari permukaan laut.

### 2.4.1 Konfigurasi Landasan Pacu (*Runway*)

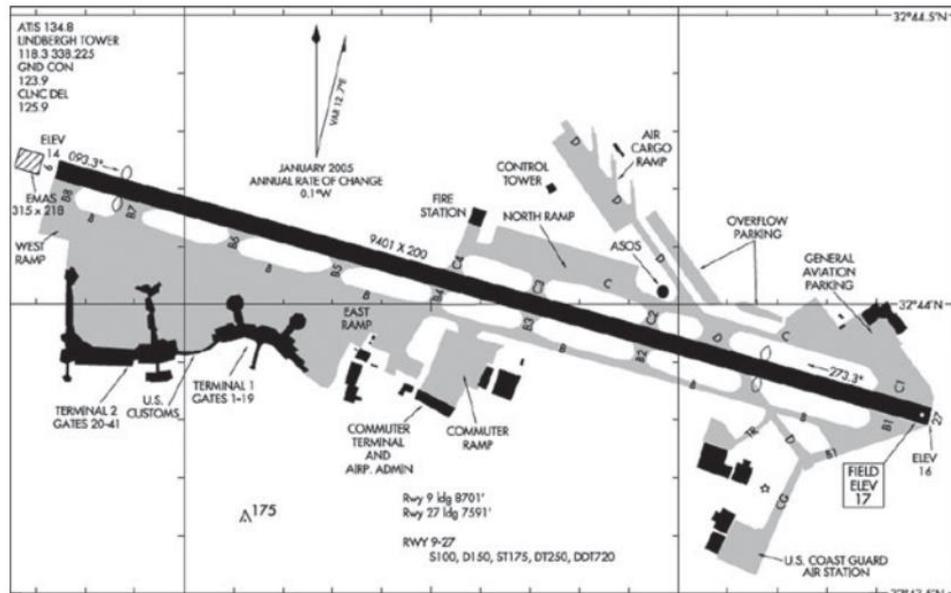
Horonjeff, dkk., (2010) menjelaskan bahwa *Runway* merupakan jalur perkerasan yang digunakan oleh pesawat terbang untuk melakukan lepas landas (*Take off*) dan mendarat (*landing*). Sebuah bandar udara dapat memiliki satu atau lebih *runway* yang dikonfigurasi untuk dapat digunakan secara aman dan efisien

dalam berbagai jenis kondisi. Sistem *runway* terdiri dari perkerasan lentur, bahu landasan, dan daerah aman *runway*.

Konfigurasi *runway* merupakan kombinasi dari beberapa macam konfigurasi dasar. Konfigurasi dasar yang dimaksud antara lain:

### 1. *Runway Tunggal (Single Runway)*

Konfigurasi ini merupakan konfigurasi yang paling sederhana. Kapasitas *runway* jenis ini dalam kondisi *VFR (Visual Flight Rules)* berkisar antara 50 sampai 100 operasi per jam, sedangkan dalam kondisi *IFR (Instrument Flight Rules)* kapasitasnya berkurang menjadi 50 sampai 70 operasi, tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang dan alat-alat bantu navigasi yang tersedia.

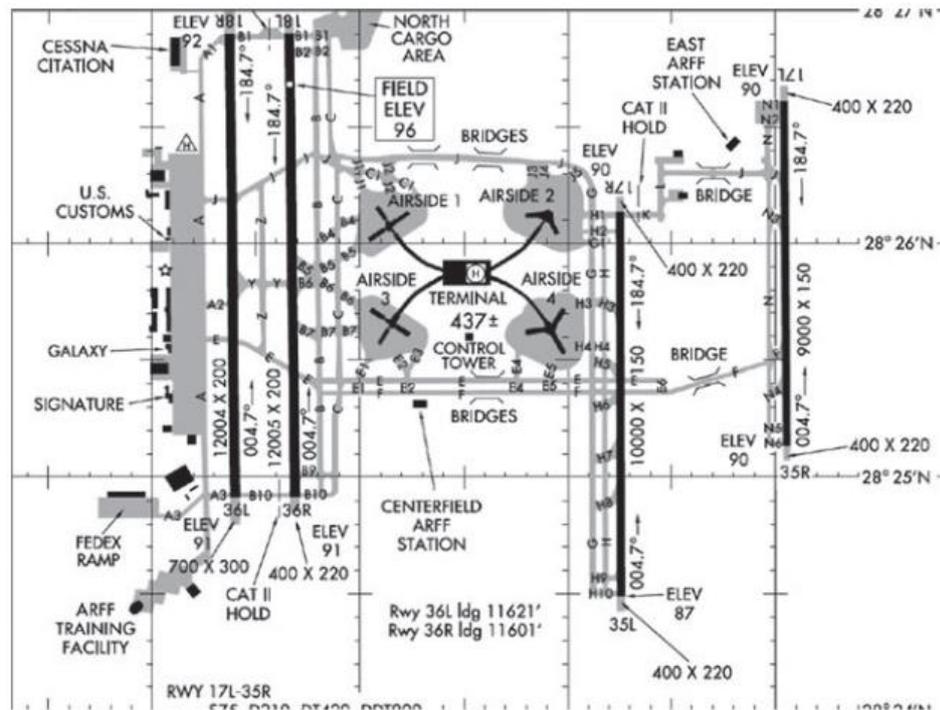


Gambar 2.6 *Single Runway*

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

## 2. Runway Paralel (*Parallel Runway*)

Kapasitas sistem *runway parallel* bergantung pada jumlah dan jarak antara dua *runway*. Pada umumnya jumlah landasan pacu sejajar berjumlah dua, tiga, atau empat. Jarak antara *runway* diklasifikasikan menjadi rapat, menengah, dan jauh tergantung jarak garis tengah pemisah kedua *runway*. Pada konfigurasi *runway parallel* ini, setidaknya landasan pacu dapat melayani lalu lintas paling sedikit 70% lebih banyak daripada konfigurasi *runway tunggal* dalam kondisi *VFR* dan kurang lebih 60% lebih banyak dari *runway tunggal* dalam kondisi *IFR*.



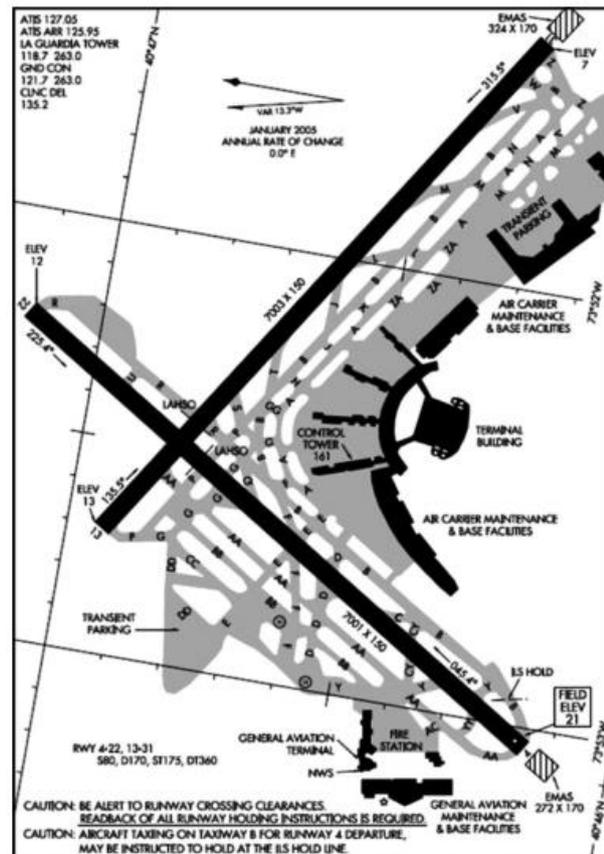
Gambar 2.7 *Runway Parallel*

Sumber: (Horroneff, dkk., 2010)

## 3. Runway Berpotongan (*Intersecting Runway*)

Landasan pacu yang berpotongan terdiri atas dua atau lebih landasan dengan arah yang berbeda atau berlawanan. Landasan pacu berpotongan diperlukan

jika angin yang bertiup keras lebih dari satu arah yang akan menghasilkan tiupan angin yang berlebihan bila landasan mengarah ke satu mata angin. Ketika hal tersebut terjadi, maka hanya ada satu landasan dari dua landasan yang berpotongan yang dapat digunakan, yakni landasan dengan arah angin yang tidak kencang.



Gambar 2.8 *Intersecting Runway*

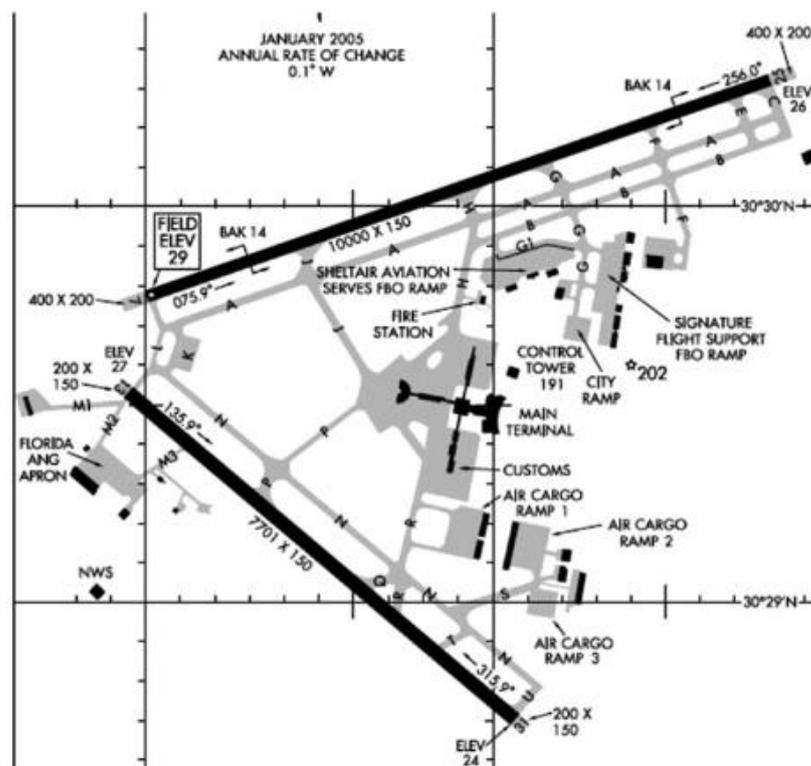
Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

#### 4. *Runway Pacu V terbuka (Open-V Runway)*

Landasan pacu V terbuka merupakan landasan dengan arah yang berbeda namun tidak saling berpotongan. Landasan ini dibentuk karena arah angin keras dari banyak arah, sehingga harus membuat landasan dengan dua arah. Ketika angin bertiup kencang dari satu arah, maka landasan hanya bisa

dioperasikan pada satu arah saja. Namun jika angin bertiup lembut maka kedua landasan dapat dipakai bersama-sama.

Strategi yang menghasilkan kapasitas tertinggi adalah saat beroperasi penerbangan divergen. Dalam IFR, kapasitas operasinya antara 50 hingga 80 gerakan per jam tergantung kepada campuran pesawat, sedangkan dalam *VFR* kapasitasnya 60 hingga 180 gerakan per jam. Bila operasi dilakukan pada satu arah mengarah konvergen, kapasitasnya sangat berkurang menjadi di 50 hingga 60 dalam IFR dan 50 hingga 100 dalam *VFR*.



Gambar 2.9 *Open V Runway*

Sumber: (Horonjeff, dkk., 2010)

Komponen yang ditinjau dari perencanaan landas pacu adalah sebagai berikut:

### 2.4.1.1 Panjang Landas Pacu

Perhitungan panjang landasan pacu akibat kondisi lokal bandara dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

- a. Penentuan pesawat kritis,
- b. Temperatur referensi yang digunakan pada area bandara,
- c. Elevasi *runway* dari permukaan laut (*altitude*) dan,
- d. Kemiringan landasan pacu.

Berdasarkan ICAO perhitungan panjang *runway* harus disesuaikan dengan metode *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL). ARFL merupakan panjang *runway* minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas pada *maximum certificated take off weight*, elevasi muka laut, kondisi atmosfer standar keadaan tanpa angin bertiup, dan tanpa kemiringan (kemiringan = 0%). maka dari itu dalam proses perencanaan geometrik landasan pacu harus dilakukan beberapa koreksi akibat pengaruh lingkungan sekitar bandara (Basuki, 1986), yaitu:

- a. Koreksi elevasi

Panjang *runway* bertambah 7% setiap kenaikan 300 m (1000 kaki) dihitung dari ketinggian diatas permukaan laut. Rumus koreksi elevasi adalah sebagai berikut:

$$Fe = 1 + 0,07 \frac{h}{300}$$

Dimana:

Fe = Faktor koreksi elevasi

h = elevasi *runway* di atas permukaan laut (meter)

b. Koreksi temperatur

Panjang *runway* harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C. Sedangkan untuk setiap kenaikan 1000 m dari permukaan laut rata-rata temperatur turun 6,5°C. Pada lokasi dengan temperatur tinggi dibutuhkan *runway* yang lebih panjang disebabkan karena kerapatan udara yang rendah, sehingga menghasilkan *output* daya dorong yang rendah. Temperatur standar diatas permukaan laut adalah 15°C. Rumus untuk koreksi temperatur adalah sebagai berikut:

$$F_t = 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065 h))$$

Dimana:

$F_t$  = Faktor koreksi temperatur

$T$  = Temperatur di lokasi Bandara (°C)

c. Faktor koreksi kemiringan *runway*

Untuk tujuan perencanaan lapangan terbang, digunakan *effective gradient* yaitu beda tinggi antara titik tertinggi dan titik terendah dari penampang memanjang landasan, dibagi dengan panjang landasan yang ada. Rumus faktor koreksi kemiringan *runway* dapat dihitung dengan persamaan:

$$F_s = 1 + 0,1S$$

Dimana:

$F_s$  = Faktor koreksi kemiringan

$S$  = Kemiringan *runway* (%)

dengan menggunakan metode ARFL, dapat dihitung panjang *runway* minimum yaitu dengan rumus:

$$ARFL = \frac{\text{Panjang Runway Terkoreksi}}{F_e \times F_s \times F_t}$$

Dimana:

$ARFL = Aerodrome Reference Field Length$

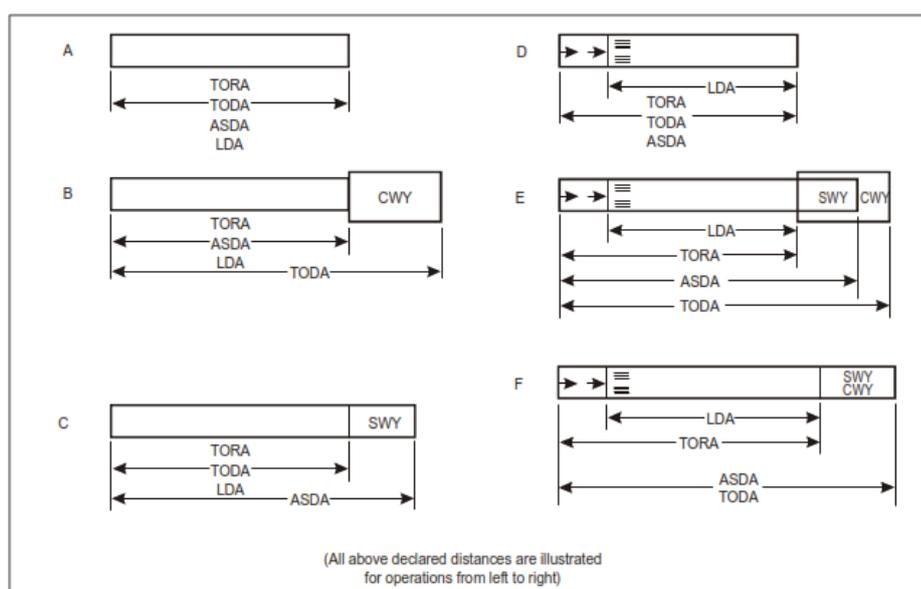
$F_t =$  Faktor koreksi temperatur

$F_e =$  Faktor koreksi elevasi

$F_s =$  Faktor koreksi kemiringan

### 2.4.1.2 Declared Distance

*Declared distance* merupakan jarak yang diinformasikan kepada pilot terkait dengan batasan suatu landasan melayani berbagai manuver dari kegiatan operasional pesawat yang meliputi *landing* dan *take off* pada landasan tersebut.



Gambar 2.10 Declared Distance

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Menurut Direktorat Jendral Perhubungan Udara (2019) Komponen-komponen pada *declared distance* meliputi:

a. *Take Off Run Available (TORA)*

TORA adalah panjang *runway* tersedia dan dapat digunakan untuk *ground run* saat pesawat udara lepas landas.

b. *Take Off Distance Available* (TODA)

TODA merupakan panjang *take off run* tersedia ditambah dengan panjangnya *clearway*.

c. *Accelerate Stop Distance Available* (ASDA)

ASDA merupakan panjang *take off run* tersedia ditambah dengan panjang *Stopway*.

d. *Landing Distance Available* (LDA)

LDA merupakan panjang *runway* tersedia dapat digunakan untuk *ground run* saat pesawat udara mendarat.

#### 2.4.1.3 Lebar Landasan Pacu

Untuk menentukan lebar *runway* rencana, terlebih dahulu ditentukan kode angka dan kode huruf pada tabel ICAO *Aerodrome Reference Codes* pada bahasan sebelumnya dan selanjutnya dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 2.5 Kriteria Perencanaan Lebar *Runway*

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

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

jika pada landasan terdapat bahu landasan maka lebar total landasan dan bahu landasannya minimal 60 m.

#### 2.4.1.4 Kemiringan Memanjang (*Longitudinal*) Landasan

Kemiringan memanjang landasan dapat ditentukan dengan mengacu pada tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Kemiringan memanjang landasan

<i>Code Number</i>	<i>Max Effective Slope</i>	<i>Max Longitudinal Slope</i>	<i>Max Longitudinal Slope Change</i>	<i>Slope Change per m</i>
	%	%	%	%
1	2	2	2	0,2 ( <i>radius 7500 m</i> )
2	2	2	2	0,2 ( <i>radius 7500 m</i> )
3	1	1,5	1,5	0,2 ( <i>radius 15000 m</i> )
4	1	1,25	1,5	0,2 ( <i>radius 30000 m</i> )

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

#### 2.4.1.5 Kemiringan Melintang (*Transversal*) Landasan Pacu

Kemiringan melintang pada landasan pacu yang dibutuhkan sebagai penjamin pengaliran air permukaan. maka dari itu ketentuan mengenai kemiringan melintang landasan adalah pada landasan dengan kode huruf C, D, E, atau F kemiringannya sebesar 1,5% sedangkan pada landasan dengan kode huruf A atau B kemiringannya sebesar 2%. (*International civil aviation organization, 2006*).

#### 2.4.1.6 Jarak Pandang (*Sight Distance*)

*International civil aviation organization* (2016) menjelaskan apabila perubahan kemiringan tidak bisa dihindari, maka perubahan harus sedemikian sehingga garis pandangan tak terhalang dari:

- a. Suatu titik setinggi 3 m dari permukaan landasan ke titik lain sejauh paling kurang setengah panjang landasan yang tingginya 3 m dari permukaan landasan bagi landasan berkode huruf C, D, atau E.
- b. Suatu titik setinggi 2 m dari permukaan landasan ke titik lain sejauh paling kurang setengah panjang landasan yang tingginya 2 m dari permukaan landasan bagi landasan berkode huruf B.

- c. suatu titik setinggi 1,5 m dari permukaan landasan ke titik lain sejauh paling kurang setengah panjang landasan yang tingginya 1,5 m di atas permukaan landasan bagi landasan berkode huruf A.

#### 2.4.1.7 Bahu Landasan (*Runway Shoulder*)

Dikutip dari (*International civil aviation organization, 2006*) Bahu landasan diperpanjang secara simetris pada masing-masing sisi landasan sehingga secara keseluruhan lebar landasan dan bahu landasannya tidak kurang dari:

- a. 60 m untuk kode D dan E
- b. 75 m untuk kode F

Untuk kemiringan *runway shoulder*, Permukaan bahu yang berbatasan dengan *runway* sebaiknya sama tinggi dengan permukaan *runway* dan kemiringan melintangnya tidak melebihi 2,5 persen.

#### 2.4.1.8 Panjang, Lebar, dan Kemiringan *strip* landasan

Persyaratan *strip* landasan menurut ICAO secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7 Panjang, Lebar, dan Kemiringan *Strips* Landasan

<i>Code Number</i>	<i>LENGTH</i>	<i>WIDTH (m)</i>			<i>MAX. SLOPE (%)</i>	
		<i>PRECISION</i>	<i>NON-PREC.</i>	<i>NON-INSTR.</i>	<i>LONG.</i>	<i>TRANSV.</i>
1	30	75	75	30	2	3
2	60	75	75	40	2	3
3	60	150	150	75	1,75	2,5
4	60	150	150	75	1,5	2,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Lebar *runway strip* pada *runway* harus membentang secara lateral dengan jarak sekurang-kurangnya 150 m dari sumbu *runway* pada masing-masing sisi *runway* sepanjang *runway strip*.

Untuk area gradasi *runway strip* pada *instrument runway*, bagian dari *runway strip* didalam jarak sekurang-kurangnya:

- a. 40 m dimana nomor kodenya adalah 1 atau 2; dan
- b. 75 m dimana nomor kodenya adalah 3 atau 4.

#### **2.4.1.9 Runway End Safety Area (RESA)**

RESA adalah suatu area yang simetris yang merupakan perpanjangan dari sumbu landasan dan berbatasan dengan *strips* untuk mengurangi resiko kecelakaan pesawat (*International civil aviation organization, 2006*). Berdasarkan isi *ICAO Part 1* diketahui bahwa:

- a. RESA harus disediakan pada tiap ujung *runway strips* dengan nomor kode 3 atau 4, dan kode nomor 1 atau 2 dengan jenis landasan instrument.
- b. Panjang area RESA bisa dibuat sesuai dengan kebutuhan dengan ketentuan paling kurang 90 m diperpanjang dari ujung *runway strip*.
- c. Lebar RESA paling kurang 2 kali *runway*.
- d. Kemiringan memanjang *Runway End Safety Area (RESA)* tidak melebihi kemiringan menurun sebesar 5 persen.
- e. Kemiringan melintang *Runway End Safety Area (RESA)*, baik kemiringan menurun atau menaik, tidak lebih dari 5 persen.

#### **2.4.1.10 Stopway**

*International civil aviation organization* (2006) Menyatakan bahwa letak *stopway* adalah pada ujung landasan pacu. Berdasarkan *ICAO part 1* disebutkan bahwa:

- a. Lebar *stopway* sama dengan lebar *runway* rencana.
- b. Pembatasan kemiringan 0,8% pada seperempat awal dan akhir landasan tidak berlaku pada *stopway*.
- c. Kemiringan *stopway* diukur dari ujung sebesar 0,3% setiap 30 m bagi landasan dengan kode 3 atau 4.

#### **2.4.1.11 Clearway**

Awal dari *clearway* terletak pada ujung *take off run available* (*International civil aviation organization*, 2006). Berdasarkan *ICAO part 1* disebutkan bahwa:

- a. Kemiringan *clearway* tidak boleh lebih dari 1,25%.
- b. Panjang maksimum *clearway* adalah setengah dari panjang *runway* yang digunakan untuk *Take Off Run Available* (TORA).
- c. Lebar *clearway* minimum secara lateral dengan jarak 75 m dari tiap sisi dan garis tengah *runway*.

#### **2.4.2 Landasan Hubung (Taxiway)**

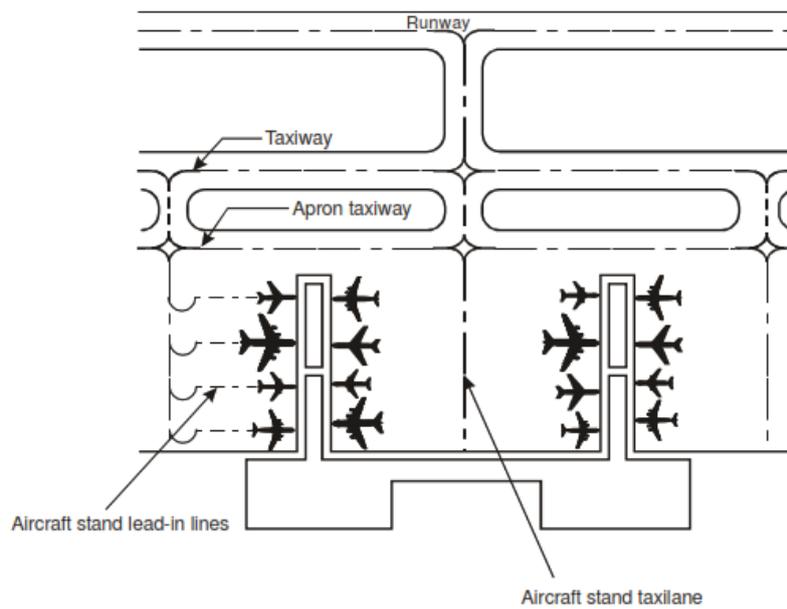
*Taxiway* merupakan jalur tertentu pada bandar udara di darat yang ditujukan untuk pesawat udara melakukan *taxi* dan ditunjukkan untuk menjadi penghubung antara satu bagian bandar udara dengan lainnya (Direktorat Jendral Perhubungan Udara, 2019). *Taxiway* harus dirancang sedemikian rupa sehingga sirkulasi

pergerakan pesawat udara di dalam *aerodrome* berjalan dengan semestinya. Dasar pengaturan landasan hubung adalah untuk:

1. Memenuhi persyaratan pemisahan lalu lintas udara.
2. Meminimalisasi gangguan akibat operasional suatu pesawat dengan pesawat lainnya, serta akibat penundaan pendaratan.
3. Memberikan jarak landas hubung yang sependek mungkin dari daerah terminal menuju landas pacu.
4. Memberikan jumlah landasan hubung yang cukup sehingga pesawat yang mendarat dapat meninggalkan landasan pacu yang secepat mungkin dan mengikuti rute yang paling pendek ke daerah terminal.

Terdapat beberapa tipe *taxiway* yaitu:

1. *Exit taxiway*, untuk memperpendek waktu penggunaan *runway* oleh pesawat saat pendaratannya.
2. *Parallel taxiway*, Konfigurasinya sejajar dengan *runway*.
3. *Apron taxiway*, terletak dekat *apron*.
4. *Cross taxiway*, penghubung dua *runway* yang berdekatan.

Gambar 2.11 Tipe *Taxiway*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

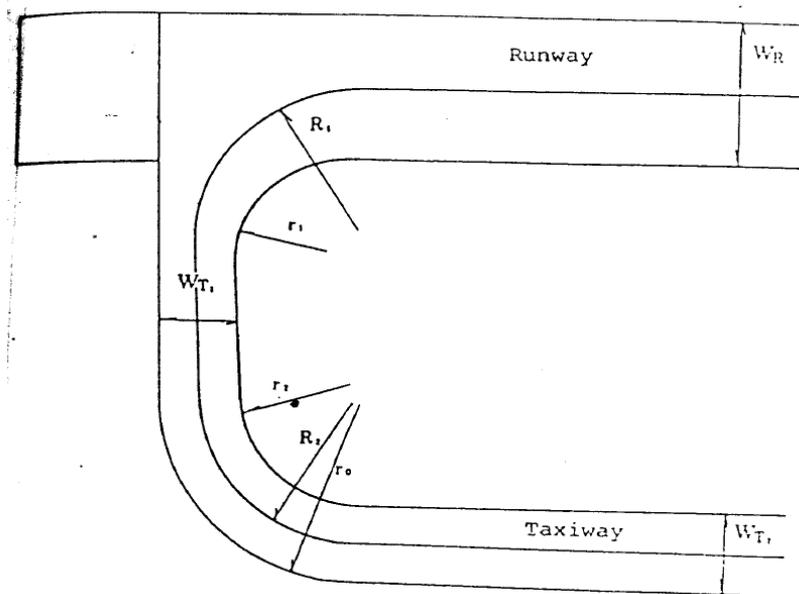
#### 2.4.2.1 Tikungan pada *taxiway*

*Taxiway curves* atau lengkung *taxiway* merupakan garis yang terletak tepat di tengah *taxiway* yang sedang berkelok. Terdapat beberapa persyaratan untuk *taxiway* yang dikeluarkan oleh ICAO untuk menentukan tikungan pada *taxiway*. Ketentuan mengenai hal tersebut tertera pada tabel berikut:

Tabel 2.8 Hubungan antara kecepatan pesawat dan jari-jari tikungan

No	Speed (km/h)	Radius of Curve (m)
1	16	15
2	32	60
3	48	135
4	64	240
5	80	375
6	96	540

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Gambar 2.12 Kurva *Taxiway*

Sumber: (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2005)

Tabel 2.9 Dimensi Jari-jari Kurva *Taxiway*

<i>Code Letter</i>	<b>Lebar Runway</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>r<sub>0</sub></b>	<b>r</b>
	<b>W<sub>r</sub> (m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
<b>A</b>	18	30	30	39	25
<b>B</b>	23	41,5	30	41,5	30
<b>C</b>	30	41,5	41,5	53	35
<b>D</b>	45	30	60	71,5	55
<b>E</b>	45	60	60	71,5	55
<b>F</b>	60	60	60	75	50

Sumber: (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2005)

#### 2.4.2.2 Lebar dan Kemiringan pada *taxiway*

Ketentuan untuk lebar *taxiway* tidak boleh kurang dari yang ditunjukkan pada tabel 2.10 berikut:

Tabel 2.10 Ketentuan Lebar *Taxiway*

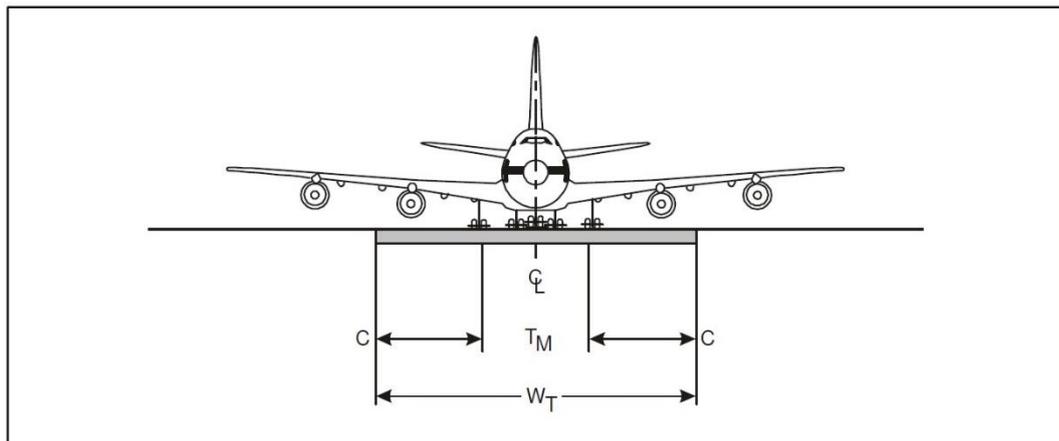
<b>Physical Characteristics</b>	<b>Code Letter</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>Minimum width of taxiway pavement</i>	7,5 m	10,5 m	18 m	23 m	23 m	25 m

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Tabel 2.11 *Wheel clearance*

<b>Physical Characteristics</b>	<b>Code Letter</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>Minimum clearance distance of outer main wheel to taxiway edge</i>	1,5 m	2,25 m	4,5 m	4,5 m	4,5 m	4,5 m

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Gambar 2.13 *Taxiway Width for aircraft*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Menentukan kemampuan lebar *taxiway* dalam melayani pesawat rencana dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$W_t = T_m + 2C$$

Dimana:

$T_m$  = *Maximum outer wheel span* pesawat rencana

$C$  = *Clearance*

Ketentuan kemiringan *taxiway* memiliki nilai berdasarkan persyaratan yang tertera pada tabel 2.12 dan 2.13 berikut:

Tabel 2.12 Kemiringan memanjang *Taxiway*

<b>Physical Characteristics</b>	<b>Code Letter</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>Minimum longitudinal slope of taxiway pavement (%)</i>	3	3	1,5	1,5	1,5	1,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Tabel 2.13 Kemiringan melintang *Taxiway*

<b>Physical Characteristics</b>	<b>Code Letter</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>Maximum transverse slope of taxiway pavement (%)</i>	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

#### 2.4.2.3 Jarak minimum pemisah *taxiway*

Jarak minimum pemisah *taxiway* dengan *taxiway* atau objek lain dihitung berdasarkan lebar *wing span*, deviasi lateral (*lateral deviation*) dan penambahan *increment*. Tabel 2.14 terdapat data minimum *separation distance* dengan faktor-faktor yang berpengaruh.

Tabel 2.14 Jarak Pemisah Minimum *Taxiway*

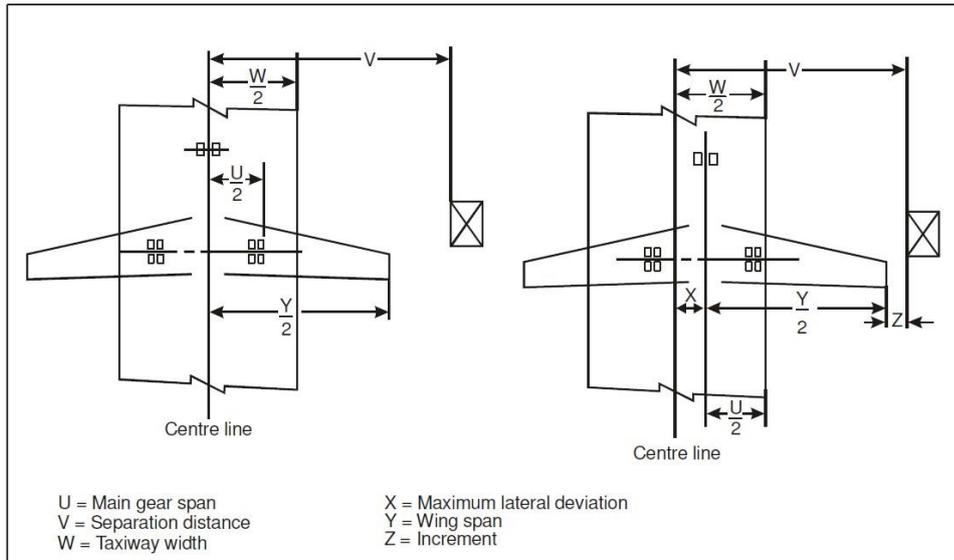
Huruf kode	Jarak antara <i>taxiway center line</i> dan <i>runway center line</i> (m)				<i>T/W center line</i> ke <i>T/W center line</i> (m)	<i>T/W center line</i> ke objek (m)	<i>T/W center line</i> ke <i>aircraft stand taxilane</i> (m)
	nomor kode <i>runway instrument</i>						
	1	2	3	4			
A	82,5	82,5	-	-	23,75	16,25	12
B	87	87	-	-	33,5	21,5	16,5
C	-	-	168	-	44	26	24,5
D	-	-	176	176	66,5	40,5	36
E	-	-	-	182,5	80	47,5	42,5
F	-	-	-	190	97,5	57,5	50,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Tabel 2.15 *Separation distance Taxiway*

<i>Separation Distances</i>	<i>Code Letter</i>					
	A	B	C	D	E	F
<i>Between apron taxiway/taxiway center line and taxiway center line (m)</i>						
<i>Wing Span (Y)</i>	15	24	36	52	65	80
<i>maximum lateral deviation (X)</i>	1,5	2,25	3	4,5	4,5	4,5
<i>increment (Z)</i>	7,25	7,25	5	10	10,5	13
<i>Total separation distance (V)</i>	23,75	33,5	44	66,5	80	97,5
<i>Between taxiway center line and object (m)</i>						
<i>1/2 Wing Span (Y)</i>	7,5	12	18	26	32,5	40
<i>maximum lateral deviation (X)</i>	1,5	2,25	3	4,5	4,5	4,5
<i>increment (Z)</i>	7,25	7,25	5	10	10,5	13
<i>Total separation distance (V)</i>	16,25	21,5	26	40,5	47,5	57,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)



Gambar 2.14 *Separation distance Aircraft*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Jarak minimum pemisahan *taxiway* dengan *runway*, dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

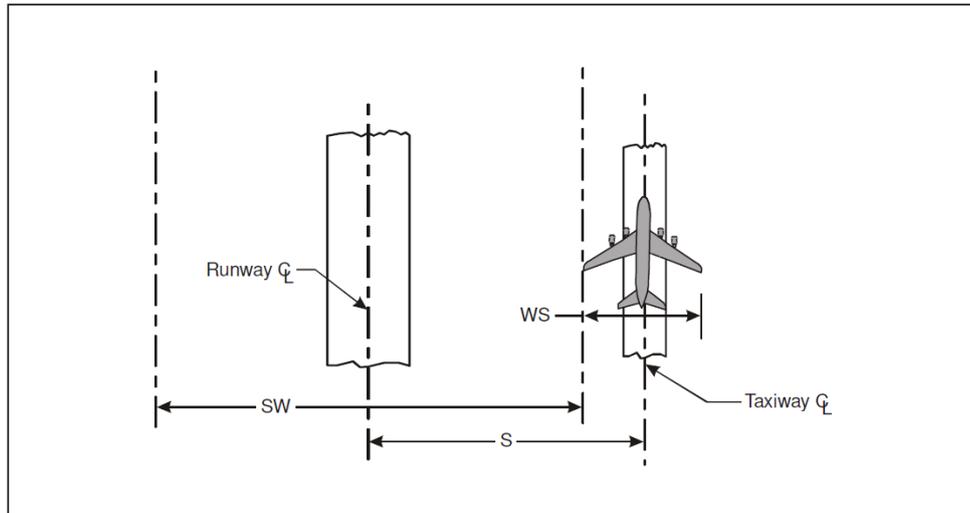
$$S = \frac{1}{2} (SW + WS)$$

Dimana:

S = *Separation distance*

SW = *Strip Width*

WS = *Wing Span*



Gambar 2.15 Separation distance parallel taxiway to runway

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Jarak minimum pemisahan *taxiway* dengan *taxiway parallel*, dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S = WS + C + Z$$

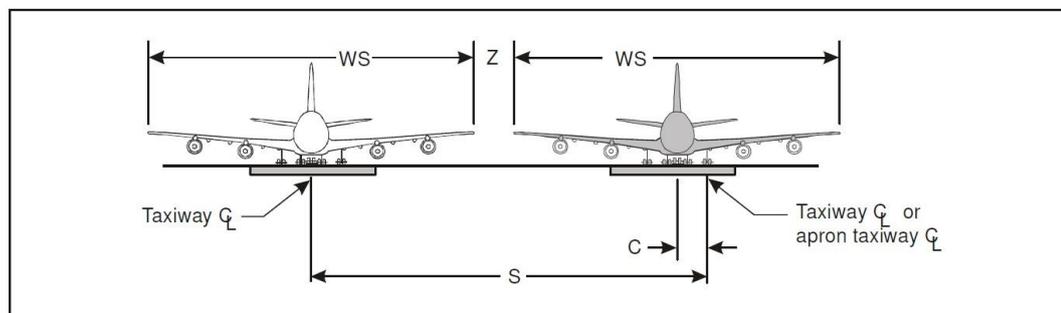
Dimana:

$S$  = Separation distance

$WS$  = Wing Span

$C$  = Clearance

$Z$  = Wing Tip Clearance



Gambar 2.16 Separation distance Parallel Taxiway

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

#### 2.4.2.4 Bahu *taxiway*

Bahu *taxiway* harus diperpanjang secara simetris pada masing-masing sisi dari *taxiway* sehingga secara keseluruhan lebar *taxiway* dan bahunya tidak kurang dari:

- a. 60 m untuk kode huruf F
- b. 44 m untuk kode huruf E
- c. 38 m untuk kode huruf D
- d. 25 m untuk kode huruf C

#### 2.4.3 Tempat Parkir Pesawat (*Apron*)

*Apron* merupakan suatu area yang telah ditentukan, di sebuah bandar udara, yang diperuntukkan untuk mengakomodasi pesawat udara dalam menaikkan atau menurunkan penumpang, pos atau kargo, parkir atau pemeliharaan minor pesawat udara lainnya (Direktorat Jendral Perhubungan Udara, 2019).

Selanjutnya, Menurut International Civil Aviation Organization (2005) Beberapa hal yang berkaitan dengan perencanaan *apron* adalah:

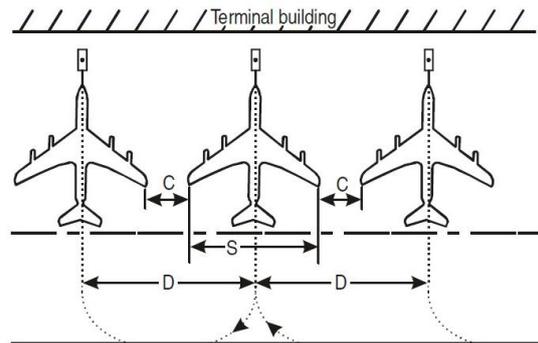
1. Ukuran dan karakteristik pesawat yang menggunakan *apron*
2. Volume lalu lintas penggunaan *apron*
3. Kebutuhan *Clearance*
4. Konfigurasi *apron* dan konfigurasi parkir yang digunakan

Untuk beberapa jenis konfigurasi parkir pesawat menurut Horonjeff dkk (2010) adalah sebagai berikut:

1. *Nose-in parking*

Dalam konfigurasi parkir ini, pesawat diparkir tegak lurus terhadap garis bangunan dengan *nose* pesawat sedekat mungkin dengan bangunan.

Maneuver pesawat ke parkir menggunakan kemampuan sendiri, dan untuk meninggalkan parkir pesawat ditarik keluar dengan *towing tug*. Keuntungan dari konfigurasi parkir ini adalah efisiensi area parkir karena tidak ada gerakan memutar, tidak menimbulkan semburan jet kearah Gedung, dan memfasilitasi pemuatan penumpang dekat dengan Gedung terminal.

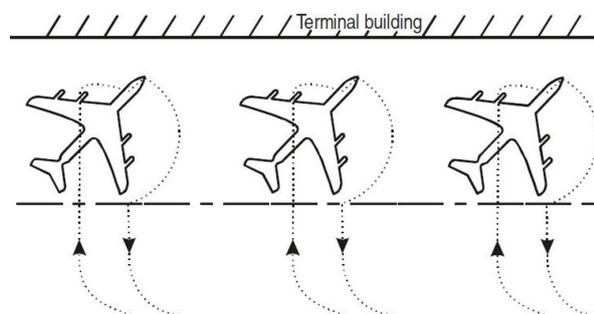


Gambar 2.17 *Nose-in parking*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

## 2. *Angled Nose-in parking*

Konfigurasi parkir ini mirip dengan konfigurasi *Nose-in*, hanya saja pesawat tidak diparkir tegak lurus Gedung, melainkan membentuk sudut agar dapat bermanuver masuk dan keluar dengan kemampuan sendiri. Namun, membutuhkan area lebih besar dan menyebabkan tingkat kebisingan yang lebih tinggi.

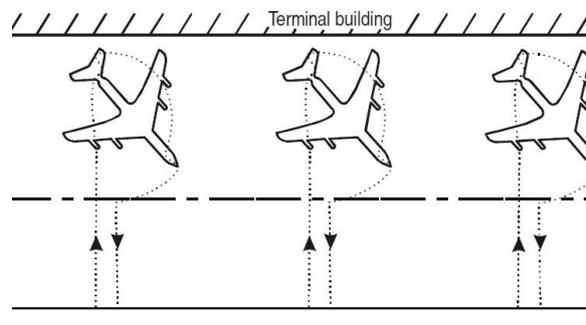


Gambar 2.18 *Angled Nose-in parking*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

### 3. *Angled Nose-out Parking*

Dalam konfigurasi parkir ini pesawat diparkir dengan hidung mengarah menjauh dari Gedung terminal. Seperti *angled nose-in parking*, konfigurasi parkir ini membuat pesawat mampu bermanuver dengan kemampuan sendiri. Membutuhkan area yang lebih kecil dibandingkan dengan *nose-in parking*, namun semburan jet dan kebisingan mengarah langsung terhadap Gedung terminal.

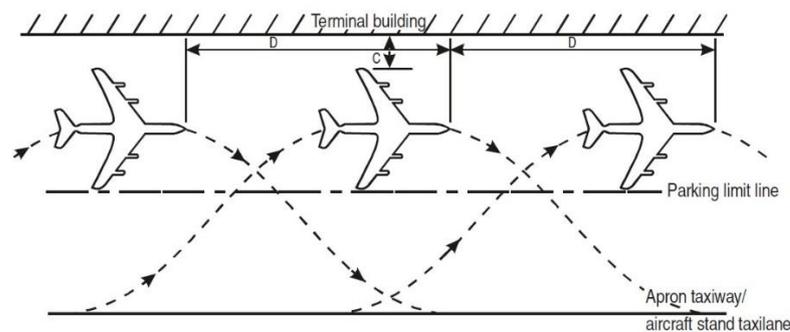


Gambar 2.19 *Angled Nose-out Parking*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

### 4. *Parallel Parking*

Konfigurasi parkir ini memudahkan untuk manuver pesawat, akan tetapi membutuhkan area yang lebih besar, khususnya di area sepanjang Gedung terminal.



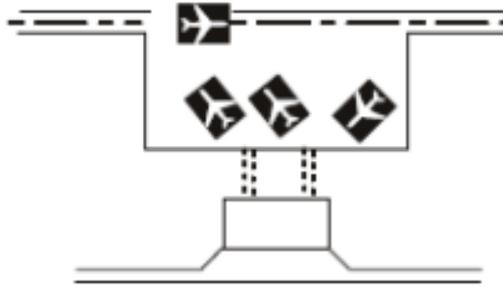
Gambar 2.20 *Parallel Parking*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Berapa jenis konsep konfigurasi *apron* adalah sebagai berikut:

1. Konsep Sederhana

Konsep ini digunakan pada bandara dengan volume lalu lintas rendah. Posisi parkir pesawat yang digunakan biasanya *angled nose-in* atau *nose out*.

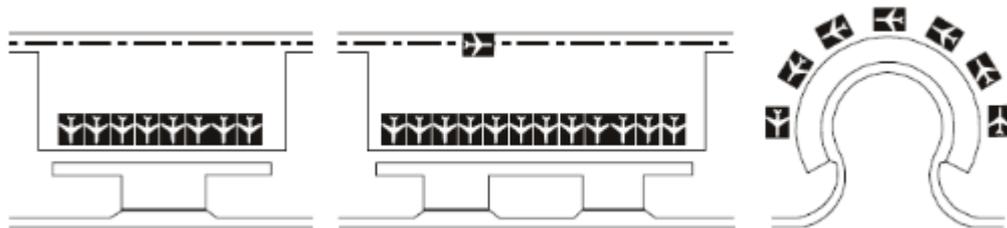


Gambar 2.21 Konsep *Apron* Sederhana

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

2. Konsep Linear

Konsep linear adalah peningkatan dari konsep sederhana. Pesawat dapat dikonfigurasi parkir dengan *angled configuration*, atau dengan *parallel*. Namun, konfigurasi parkir *nose-in/push-out* lebih sering digunakan karena lebih efisien.

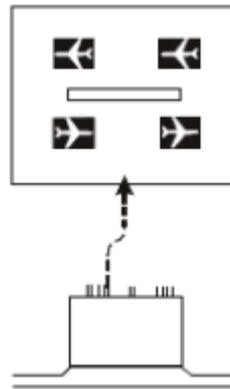


Gambar 2.22 Konsep *Apron* Linear

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

### 3. Konsep Terbuka

Konsep ini dapat dirujuk sebagai konsep transporter terbuka karena *apron* ditempatkan secara ideal untuk pesawat yaitu dekat dengan landasan pacu dan jauh dari struktur lain. Konsep ini akan memberikan keuntungan untuk penanganan pesawat seperti jarak *taxiing* keseluruhan yang lebih pendek. Namun membutuhkan pengangkutan penumpang, bagasi, dan cargo dengan transporter dari terminal.

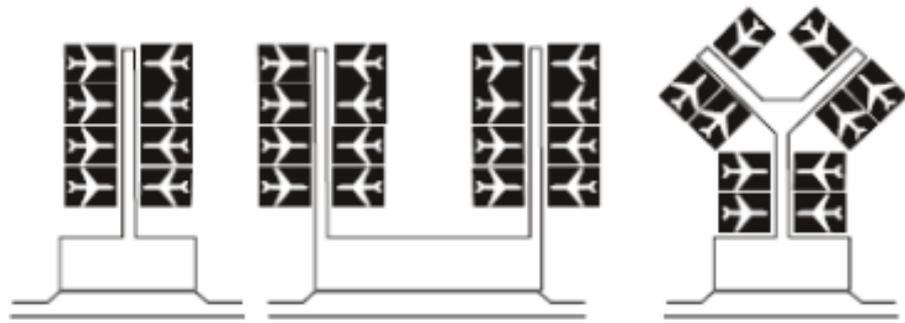


Gambar 2.23 Konsep *Apron* Terbuka

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

### 4. Konsep *Pier*

Ada beberapa variasi dari konsep ini berdasarkan terhadap bentuk *pier*. Pesawat dapat diparkir pada posisi *gate* di kedua sisi *pier*. Dengan konfigurasi parkir miring, sejajar, ataupun *nose-in*. penting untuk menyediakan ruang yang cukup antara *pier* agar mampu melayani pesawat yang lebih besar di masa mendatang.

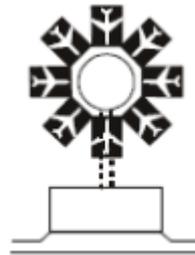


Gambar 2.24 Konsep *Apron Pier*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

### 5. Konsep Satelit

Konsep satelit terdiri dari unit satelit dikelilingi oleh *gate* yang terpisah dari terminal. Akses penumpang ke satelit dari terminal biasanya melalui koridor bawah tanah untuk memanfaatkan ruang *apron* sebaik-baiknya. Konfigurasi parkir pesawat bergantung dari bentuk satelit. Kerugian dari konsep ini adalah sulitnya perluasan tambahan yang berarti perlu merombak seluruh unit ketika diperlukan posisi *gate* tambahan.

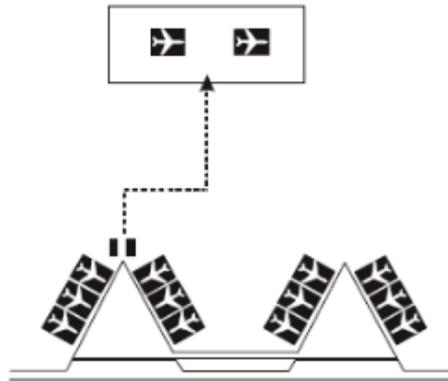


Gambar 2.25 Konsep *Apron Satelit*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

## 6. Konsep Gabungan

Konsep gabungan Merupakan gabungan dari dua atau lebih konsep yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini cukup umum untuk menggabungkan konsep transporter dengan salah satu konsep lain untuk melayani lalu lintas puncak.



Gambar 2.26 Konsep *Apron* Gabungan

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

*Apron* harus dapat melayani kegiatan naik turun penumpang, kargo, atau surat, serta pesawat tanpa mengganggu lalu lintas udara bandara.

Komponen yang ditinjau dari perencanaan *apron* adalah sebagai berikut:

### 1. *Clearance*

Jarak minimum dari sebuah pesawat yang berada dalam area parkir pesawat dengan bangunan atau pesawat atau objek lain untuk perencanaan bandara ditetapkan berdasarkan kategori *Aerodrome Code Letter* dengan nilai nilai yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 2.16 Jarak Minimum antara Pesawat dengan Suatu Objek

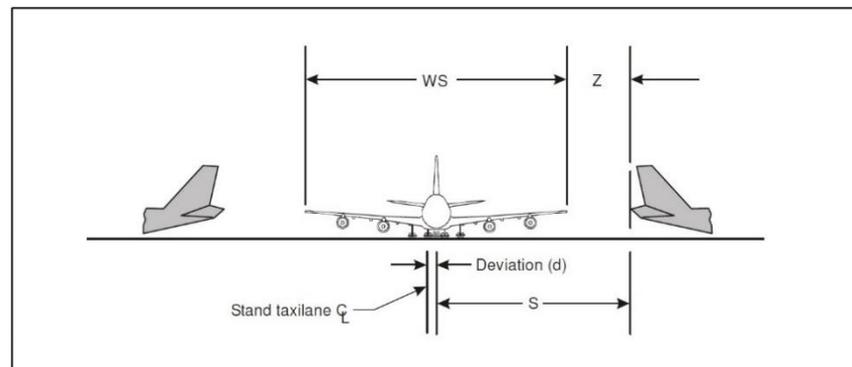
<b>Huruf kode</b>	<b>Clearance antar pesawat (m)</b>	<b>Apron taxiway center line ke objek (m)</b>	<b>Aircraft stand taxilane center line ke objek (m)</b>
A	3,0	16,25	12
B	3,0	21,5	16,5
C	4,5	26	24,5
D	7,5	40,5	36
E	7,5	47,5	42,5
F	7,5	57,5	50,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Tabel 2.17 Separation distances

<b>Separation Distances</b>	<b>Code Letter</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>Between apron taxiway center line and object (m)</i>						
<i>1/2 Wing Span (Y)</i>	7,5	12	18	26	32,5	40
<i>maximum lateral deviation (X)</i>	1,5	2,25	3	4,5	4,5	4,5
<i>increment (Z)</i>	7,25	7,25	5	10	10,5	13
<i>Total separation distance (V)</i>	16,25	21,5	26	40,5	47,5	57,5
<i>Between aircraft stand taxilane center line and object (m)</i>						
<i>1/2 Wing Span (Y)</i>	7,5	12	18	26	32,5	40
<i>maximum lateral deviation (X)</i>	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3
<i>increment (Z)</i>	3	3	4,5	7,5	7,5	7,5
<i>Total separation distance (V)</i>	12	16,5	24,5	36	42,5	50,5

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)



Gambar 2.27 Jarak pemisahan minimum *aircraft to object*

Sumber: (*International civil aviation organization, 2006*)

Menentukan jarak pemisahan minimum pesawat terhadap objek dapat digunakan persamaan (*International civil aviation organization, 2005*) berikut:

$$S = \frac{WS}{2} + d + Z$$

Dimana:

WS = *Wingspan*

d = *Lateral Deviation*

Z = *Wingtip Clearance*

## 2. Kemiringan *Apron*

*International civil aviation organization* (2005) menjelaskan bahwa kemiringan suatu *apron* dibuat 0,5 hingga 1 persen pada area *aircraft stand*, dan tidak melebihi 1,5 persen pada area lainnya.

## 3. Luas *Apron*

Jumlah luasan didapatkan berdasarkan jarak *clearance*, *wingspan*, panjang dimensi pesawat kritis pada saat jam puncak, dan jumlah *gate stand* pada *apron*. Kemudian dari hasil perhitungan tersebut disesuaikan dengan

konfigurasi *apron*. Menurut (Nursalim, 2017), menentukan kebutuhan *Gate Stand Apron* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$G = \frac{V \times T}{U}$$

Dimana:

G = Jumlah *Gate*

V = Volume pesawat saat jam puncak

T = Waktu pemakaian *Gate Stand Apron*

U = Faktor Utilitas (0,8)

Mengenai waktu pemakaian/parkir di *gate stand* (T), diperoleh berdasarkan jenis pesawat dengan kisaran waktu 30 – 60 menit. Maka waktu pemakaian/parkir *gate* untuk pesawat kelas V adalah 55 menit dan untuk pesawat III adalah 45 menit (*Boeing Commercial Airplanes*, 2015).

Faktor utilitas pemakaian *gate* (U) yang dapat digunakan untuk semua jenis perusahaan penerbangan adalah kurang dari 1 yaitu 0,8. Faktor ini menjelaskan bahwa tidak semua *gate stand* dapat digunakan 100 persen waktu, hal ini disebabkan oleh manuver pesawat yang menimbulkan kesenjangan ketepatan waktu penggunaan *gate stand*, maka dari itu diperlukan adanya nilai faktor penggunaan *gate* (Horonjeff, dkk., 2010).

Dalam menentukan luasan *apron*, perlu ditentukan luas tiap satu *stand* pesawat dengan persamaan sebagai berikut:

$$A(\text{stand}) = P \times L + 2(C.P)$$

Dimana:

A = Luas *stand* pesawat

- P = Dimensi Panjang pesawat  
 L = Dimensi Lebar *wingspan* pesawat  
 C = *Clearance* antar pesawat

#### 2.4.4 Perencanaan Struktur Perkerasan

Perkerasan merupakan sebuah struktur yang terdiri dari satu atau lebih lapisan material yang telah diproses dengan kekerasan dan daya dukung yang memadai. Fungsi perkerasan adalah untuk menyebarkan beban ke tanah dasar dan semakin besar kemampuan tanah dasar untuk memikul beban, maka tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan semakin kecil. Terdapat dua jenis perkerasan yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Metode FAA merupakan metode perencanaan struktur perkerasan berdasarkan CBR. Acuan pada metode FAA adalah standar perencanaan perkerasan FAA *Advisory Circular* (AC) 150/5320-6F (*Federal Aviation Administration*, 2016). Metode yang digunakan dalam perencanaan struktur perkerasan diantaranya:

##### 1. Metode Pesawat Ekuivalen

Metode pesawat ekuivalen merupakan metode yang melibatkan penentuan angka dari kedatangan rutin total pesawat dari setiap jenis dan mengelompokkannya kedalam “kedatangan rutin ekuivalen” setiap pesawat. Tujuannya adalah untuk mengetahui variasi pesawat terbanyak yang membutuhkan kekuatan perkerasan (Basuki, 1986).

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Log } R1 = \text{Log } R2 \sqrt{\frac{W2}{W1}}$$

$$W2 = \frac{0,95 \times MTOW}{\text{Jumlah Roda Pendaratan}}$$

$$R2 = \text{annual movement} \times F$$

$$W1 = W \text{ pesawat terbesar}$$

Dimana,

R1 = ekuivalen kedatangan rutin berdasarkan pesawat kritis

R2 = Jumlah kedatangan rutin pesawat dalam pengaturan *landing gear* pesawat kritis

W1 = Beban roda dari pesawat kritis

W2 = Beban roda pesawat yang akan dikonversi

## 2. Metode Kegagalan Kumulatif (*Cumulative Damage Factor*)

Metode kegagalan kumulatif merupakan perencanaan yang menggunakan konsep kegagalan dan diekspresikan dalam faktor kerusakan kumulatif atau “*cumulative damage factor*” (*CDF*).

Rumus *CDF* untuk estimasi jumlah penggunaan sampai perkerasan menjadi rusak adalah:

$$CDF_{desain} = \sum \left( \frac{n_i}{N_i} \right)$$

Dimana,

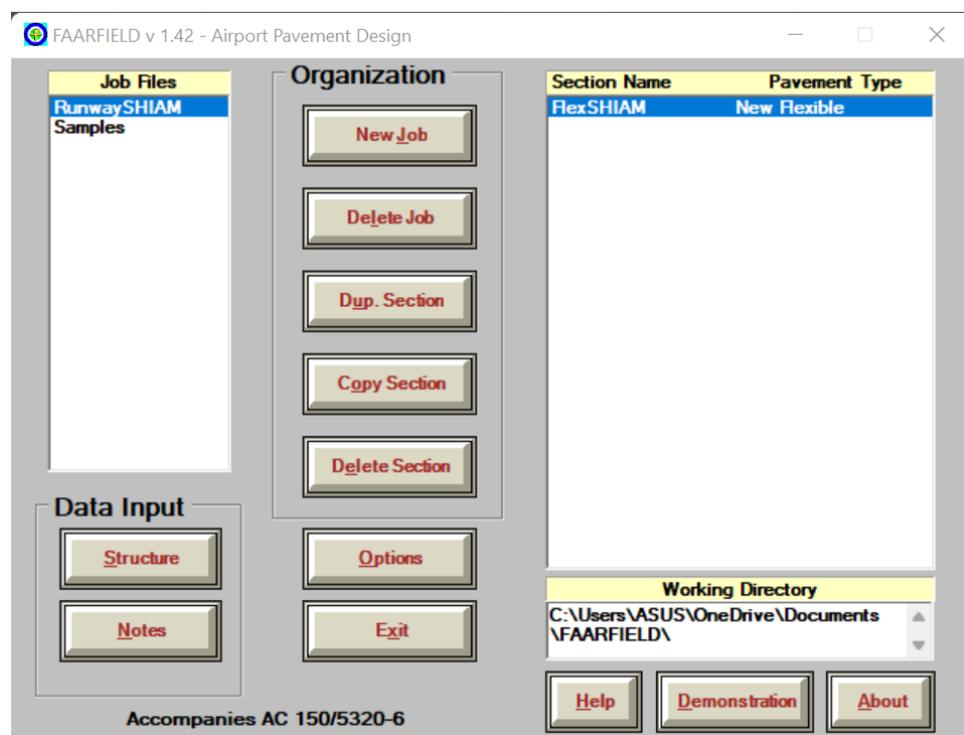
$n_i$  = jumlah kedatangan pesawat  $i$  dengan beban yang diterapkan

$N_i$  = Jumlah repetisi kedatangan pesawat  $i$  yang bisa menyebabkan kegagalan perkerasan untuk setiap pesawat  $i$  di dalam armada (*Federal Aviation Administration*, 2016)

Metode desain perkerasan FAA yang digunakan adalah dengan menggunakan model perangkat lunak komputer untuk memperkirakan

ketebalan lapisan perkerasan, baik perkerasan lentur dan kaku. Data-data yang dibutuhkan adalah nilai modulus *subgrade* dan kombinasi armada pesawat yang diprediksi.

Perangkat lunak yang digunakan pada metode FAA yaitu FAA *Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design* atau FAARFIELD untuk perencanaan perkerasan berdasarkan konsep *CDF* yang dilengkapi dengan koleksi pesawat, berat, konfigurasi roda pendaratan, serta kontribusi *CDF*. *CDF* pada FAARFIELD menunjukkan kondisi di akhir tahun rencana.



Gambar 2.28 Jendela *input* FAARFIELD untuk *design* perkerasan

Sumber: (*Federal Aviation Administration*, 2016)

#### 2.4.4.1 Struktur Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur terdiri dari campuran berbitumen (biasanya aspal) dengan agregat, disebarkan diatas suatu permukaan material granular yang bermutu tinggi.

Perkerasan ini terdiri dari lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*) yang telah dipersiapkan.

Lapisan permukaan terdiri dari campuran aspal dan agregat dengan ketebalan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Fungsi utamanya adalah agar lalu lintas dapat dengan aman melintas di atas permukaan, selain itu untuk menumpu beban roda pesawat dan menahan beban repetisi sehingga kemudian meneruskan beban tersebut ke lapisan-lapisan di bawahnya.

1. Tanah dasar (*subgrade*)

Perencanaan tebal perkerasan pada tanah dasar akan menentukan kualitas konstruksi perkerasan. Sifat-sifatnya merupakan tolak ukur kekuatan dan keawetan konstruksi suatu landasan pacu. Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar seperti *California bearing ratio* (CBR), dan modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ).

2. Lapisan pondasi bawah (*Sub base course*)

Lapisan pondasi bawah merupakan bagian dari konstruksi perkerasan landasan pacu yang terletak di antara tanah dasar dan lapisan pondasi atas. Lapisan pondasi bawah terbuat dari material batu alam yang dipecahkan terlebih dahulu, atau yang alami. pada lapisan ini juga digunakan bahan serta batupasir yang diproses terlebih dahulu, atau dapat juga bahan yang dipilih dari hasil galian di tempat pekerjaan. Lapisan pondasi bawah bersifat pilihan, namun untuk memenuhi ketebalan perkerasan lentur tersebut maka ditambahkan lapisan tersebut. Fungsi lapisan pondasi bawah berdasarkan (Horonjeff, dkk., 2010) adalah:

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan yang mendukung dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang murah agar lapisan-lapisan lainnya dapat dikurangi biayanya dalam rangka penghematan biaya.
- c. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi atas

### 3. Lapisan Pondasi Atas (*Base course*)

Lapisan pondasi atas merupakan bagian dari landasan pacu terletak diantara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan. Lapisan pondasi atas terdiri dari material berbutir kasar dengan bahan pengikat, seperti aspal dan semen, atau tanpa bahan pengikat namun menggunakan bahan penguat (misalnya kapur). Lapisan ini harus mampu menahan beban dan meneruskannya serta menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Fungsi lapisan pondasi atas antara lain:

- a. Untuk menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban lapisan di bawahnya.
- b. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
- c. Bantalan terhadap lapisan pondasi bawah.

### 4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan yang terletak paling atas. Fungsi lapisan ini adalah sebagai berikut:

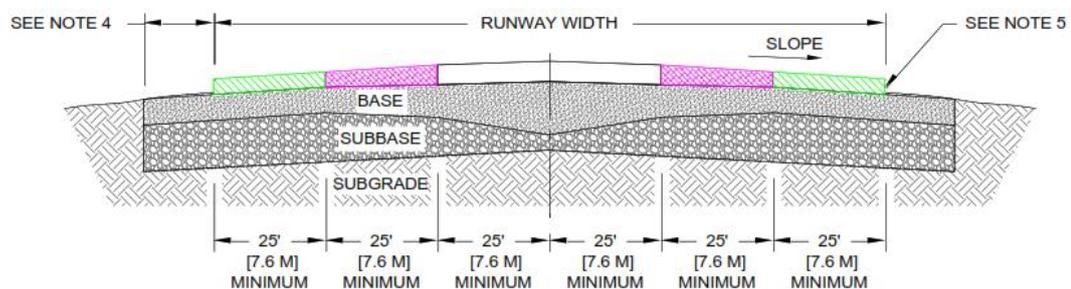
- a. Lapisan perkerasan menahan beban roda, lapisan yang mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- b. Lapisan kedap air sehingga hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya.

- c. Lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung mengalami gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga lapisan bawah yang memikul daya dukung lebih kecil akan menerima beban yang kecil juga.

Metode perencanaan tebal perkerasan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode FAA, dimana metode ini adalah metode yang paling umum digunakan dalam perencanaan tebal struktur perkerasan *runway* yang berdasar pada nilai CBR sehingga daya dukung tanah dasar (*subgrade*) memengaruhi analisa perhitungan.

Perhitungan tebal perkerasan didasarkan pada grafik-grafik yang dibuat oleh FAA, untuk menentukan tebal perkerasan ada beberapa variabel yang harus diketahui, yaitu:

1. Nilai CBR *subgrade* dan nilai CBR *subbase course*
2. Berat MTOW (*Maximum Take Off Weight*) pesawat rencana
3. Jumlah keberangkatan tahunan (*annual departure*)
4. Tipe roda pendaratan pesawat



Gambar 2.29 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur

Sumber: (*Federal Aviation Administration, 2016*)

Langkah-langkah penggunaan metode FAA dalam merencanakan perkerasan *runway* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Pesawat Rencana

Pada pelaksanaannya, landasan pacu harus melayani beragam tipe pesawat dengan tipe roda pendaratan dan berat yang berbeda-beda, dengan demikian diperlukan konversi ke pesawat rencana.

Pesawat rencana didapat dengan menghitung beban roda (*wheel load*) perpesawat, beban roda pesawat terbesar nantinya dipilih sebagai pesawat rencana dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = \frac{0,95 \times MTOW}{\text{Jumlah Roda Pendaratan}}$$

Dalam perhitungan menurut Basuki (1986) *equivalent annual departure*, bagi pesawat berbadan lebar yang memiliki berat diatas 300000 lbs dianggap memiliki roda pendaratan *dual tandem* pada konversi.

Tabel 2.18 Konversi Roda Pendaratan Utama

<b>Konversi Dari</b>	<b>Kepada Tipe Roda Pendaratan</b>	<b>Faktor Pengali</b>
<i>Single Wheel</i>	<i>Dual wheel</i>	0,8
<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,5
<i>Dual Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,6
<i>Dual Tandem</i>	<i>Dual Tandem</i>	1
<i>Dual Tandem</i>	<i>Single Wheel</i>	2
<i>Dual Tandem</i>	<i>Dual wheel</i>	1,7
<i>Dual Wheel</i>	<i>Single Wheel</i>	1,3
<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Tandem</i>	1,7

Sumber: (Basuki, 1986)

## 2. Menghitung *Equivalent annual departure*

Dalam rumus *Equivalent annual departure* (Basuki, 1986) terhadap pesawat rencana dihitung dengan rumus:

$$\text{Log } R1 = \text{Log } R2 \sqrt{\frac{W2}{W1}}$$

$$W2 = \frac{0,95 \times MTOW}{\text{Jumlah Roda Pendaratan}}$$

$$R2 = \text{annual movement} \times F$$

$$W1 = W \text{ pesawat terbesar}$$

Dimana:

R1 = ekivalen kedatangan rutin berdasarkan pesawat kritis

R2 = Jumlah kedatangan rutin pesawat dalam pengaturan *landing gear* pesawat kritis

W1 = Beban roda dari pesawat kritis

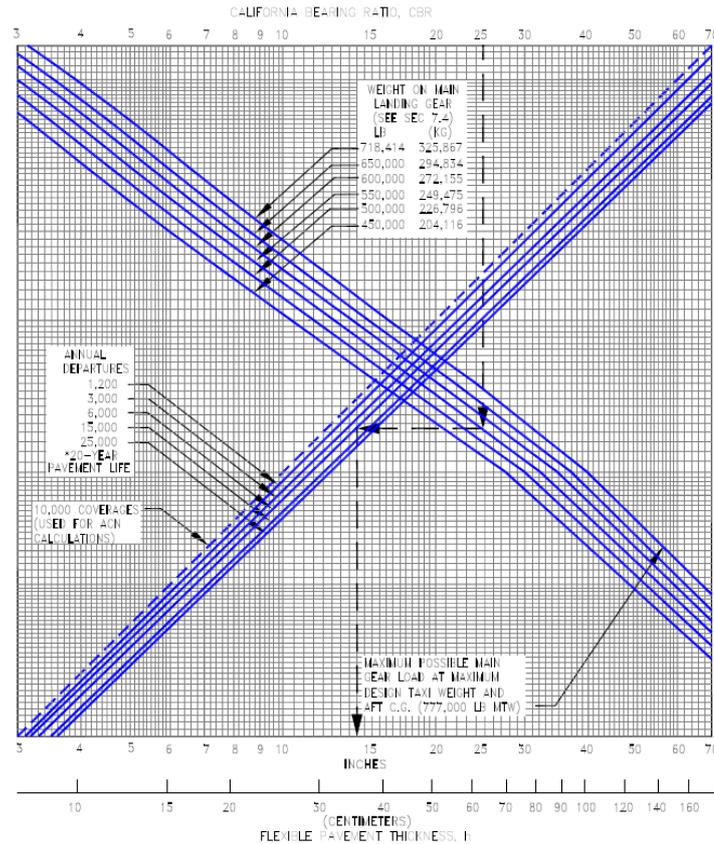
W2 = Beban roda pesawat yang akan dikonversi

F = Faktor konversi roda pendaratan

Berat pesawat dianggap 95% ditumpu oleh roda pendaratan utama (*main gear*) dan 5% oleh *nose wheel* (Basuki, 1986).

## 3. Menghitung Tebal Perkerasan Total

Tebal perkerasan total dihitung dengan memplotkan data CBR *subgrade*, MTOW (*Maximum Take Off Weight*) pesawat rencana dan nilai *equivalent annual departure* kedalam grafik berikut:



Gambar 2.30 Grafik Penentuan Tebal Perkerasan

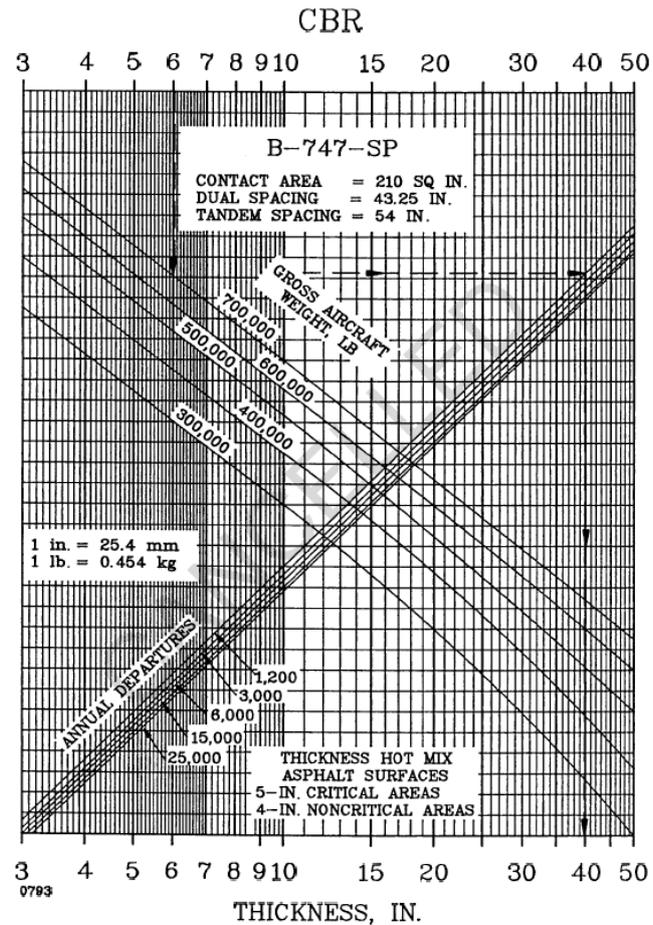
Sumber: (Boeing Commercial Airplanes, 2015)

4. Menghitung tebal perkerasan *subbase*

Dengan nilai CBR *subbase* yang ditentukan, MTOW dan *equivalent annual departure* maka dari grafik yang sama didapat harga yang merupakan tebal lapisan diatas *subbase*, yaitu lapisan *surface* dan lapisan *base course*. Maka, tebal *subbase* sama dengan tebal perkerasan total dikurangi tebal lapisan diatas *subbase* atau tebal bacaan.

5. Menghitung tebal perkerasan permukaan (*surface*)

Tebal *surface* langsung dibuat dari grafik dibawah ini yang berupa tebal *surface* untuk daerah kritis dan non kritis. Untuk area kritis digunakan tebal 5 inch dan 4 inch untuk area non-kritis.

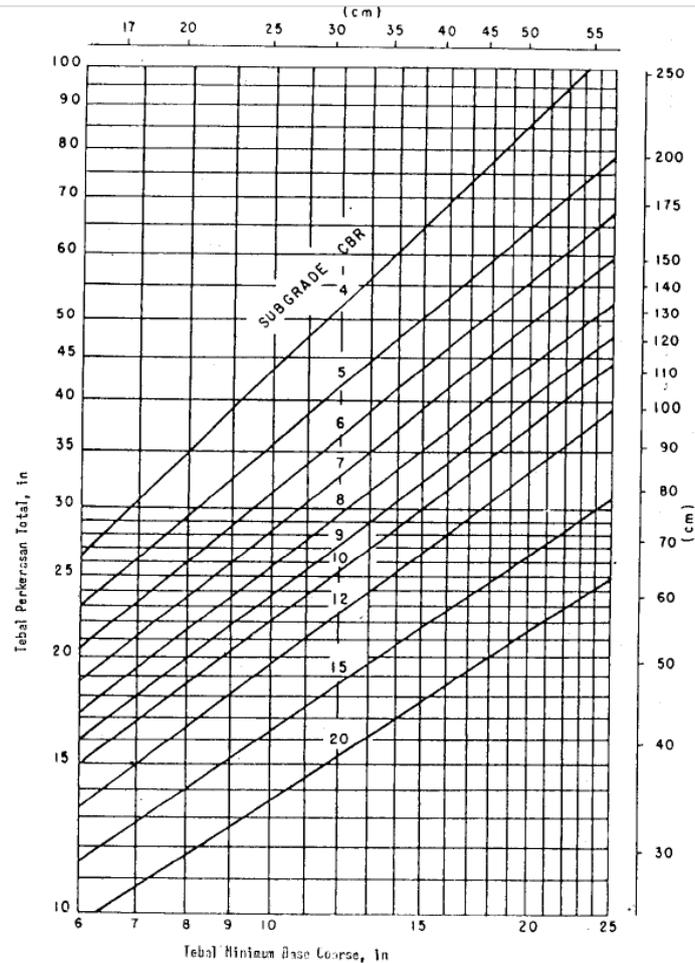


Gambar 2.31 Penentuan Tebal Surface

Sumber: (*Federal Aviation Administration, 1995*)

6. Menghitung tebal perkerasan *base course*

Tebal *base course* sama dengan tebal lapisan diatas *subbase course* dikurangi tebal lapisan permukaan (*surface course*). Hasil ini harus dicek dengan membandingkannya terhadap tebal *base course* minimum dari grafik. Apabila tebal *base course* minimum lebih besar dari tebal *base course* hasil perhitungan, maka selisihnya diambil dari lapisan *subbase course*, sehingga tebal lapisan *subbase course* pun berubah.



Gambar 2.32 Tebal *Base course*

Sumber: (Basuki, 1986)

#### 2.4.4.2 Struktur Perkerasan Kaku

Metode perencanaan tebal perkerasan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode FAA, dimana metode ini adalah metode yang paling umum digunakan dalam perencanaan tebal struktur perkerasan *runway* ataupun *apron*.

Jenis dan kekuatan tanah dasar (*subgrade*) sangat memengaruhi analisa perhitungan. Perhitungan tebal perkerasan didasarkan pada grafik-grafik yang dibuat oleh FAA, perhitungan ini dapat diuji hingga jangka waktu 20 tahun dan

untuk menentukan tebal perkerasan ada beberapa variabel yang harus diketahui, yaitu:

1. Nilai CBR *subgrade* dan nilai CBR *subbase course*
2. Berat MTOW (*Maximum Take Off Weight*) pesawat rencana
3. Tipe roda pendaratan pesawat

Langkah-langkah penggunaan metode FAA dalam merencanakan perkerasan

*Apron* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Nilai *K Value*

Menentukan nilai *K Value* didapat dengan mengkonversi nilai CBR ke *K Value* (Federal Aviation Administration, 2009) dengan persamaan berikut:

$$K \text{ Value Subgrade} = \left( \frac{1500 \times CBR}{26} \right)^{0,7788}$$

2. Menentukan Flexural Strength

Untuk mencari *flexural strength* digunakan persamaan menurut Basuki (1986) sebagai berikut:

$$MR = K\sqrt{Fc'}$$

Dimana:

MR = Modulus of Rupture (*Flexural Strength*) dalam psi

K = Konstanta (9,2)

Fc' = Kuat tekan beton dalam psi

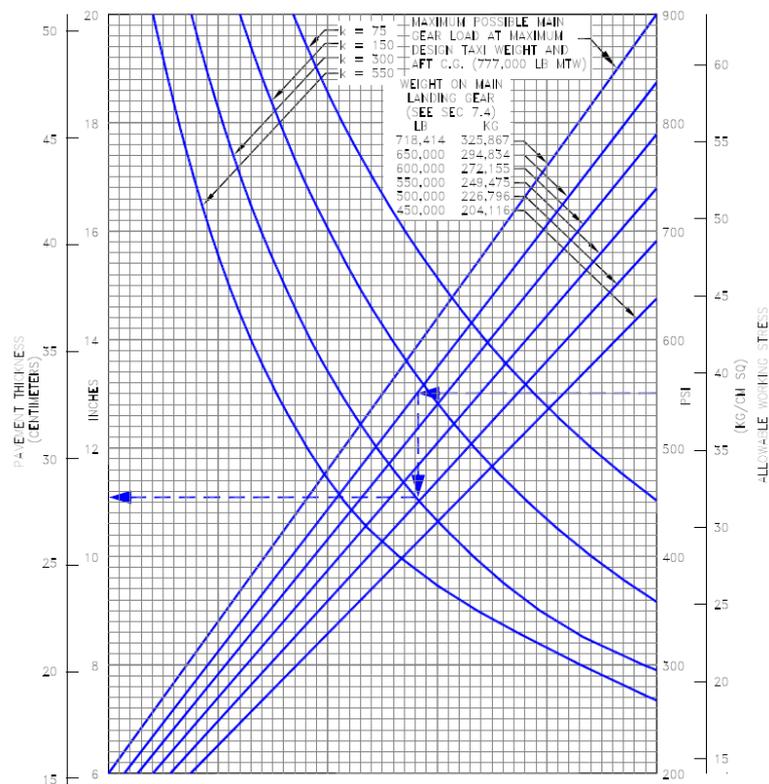
3. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana didapat dengan menghitung beban roda (*wheel load*) perpesawat, beban roda pesawat terbesar nantinya dipilih sebagai pesawat rencana dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = \frac{0,95 \times MTOW}{\text{Jumlah Roda Pendaratan}}$$

#### 4. Menghitung Tebal Perkerasan Total

Tebal perkerasan total dihitung dengan memplotkan data *Flexural Strength*, MTOW (*Maximum Take Off Weight*) pesawat rencana dan nilai *modulus reaction subgrade* “k” kedalam grafik berikut:

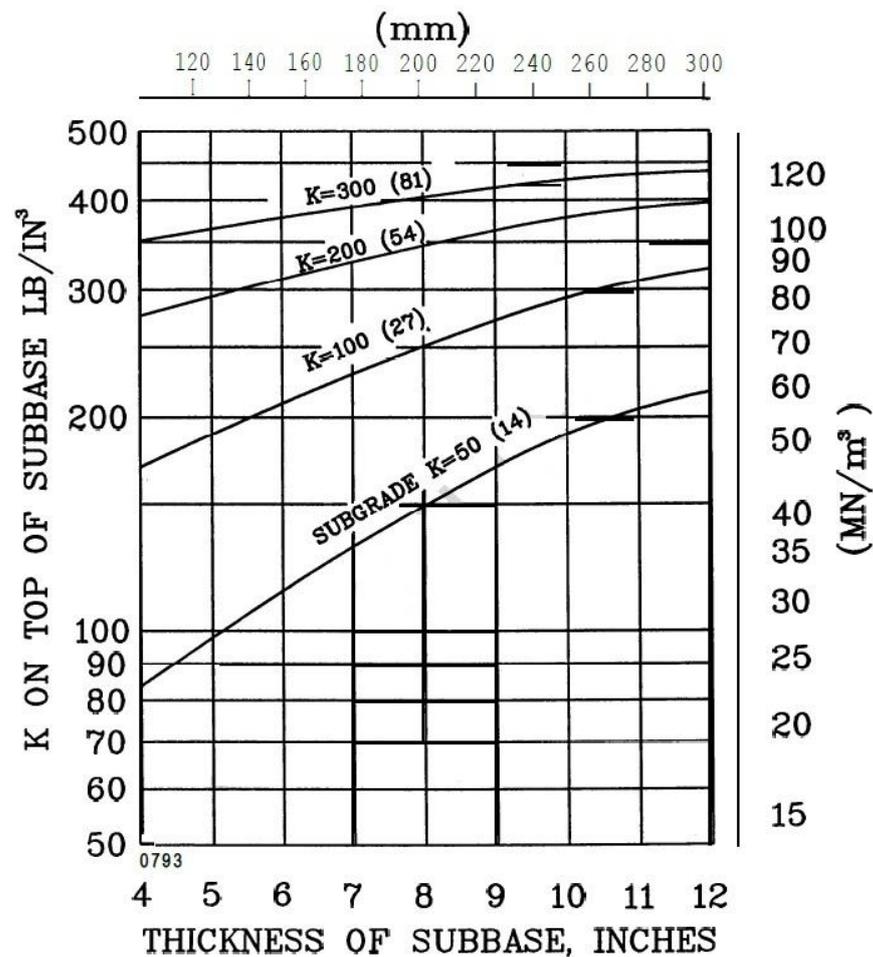


Gambar 2.33 Grafik Penentuan Tebal Perkerasan

Sumber: (*Boeing Commercial Airplanes*, 2015, pp. 7-11)

#### 5. Menghitung tebal perkerasan *subbase*

Menentukan Tebal *Subbase Rigid Pavement* digunakan metode grafik untuk desain tebal *subbase* yang bersumber dari peraturan FAA AC 150/5320-6D.



Gambar 2.34 Grafik ketebalan *subbase* perkerasan kaku

Sumber: (*Federal Aviation Administration*, 1995)

## 2.5 Forecasting Dalam Perencanaan Bandara

Dalam perencanaan bandar udara diperlukan *forecasting* untuk mengetahui pergerakan pesawat tahun rencana. Untuk itu dibutuhkan metode pendekatan yang tepat untuk memprediksinya berdasarkan data historis yang telah ada. Dalam penelitian ini digunakan metode peramalan yaitu metode deret berkala atau *time series* dengan bantuan *software Microsoft excel* yang mana dibutuhkan data-data pergerakan dimasa lampau untuk melakukan peramalan pergerakan dimasa mendatang sehingga dapat ditentukan hasilnya.

Menurut Azhar (2019) *Microsoft Excel* adalah program di *microsoft office* yang digunakan dalam pengolahan angka. *Microsoft Excel* sangat membantu pekerjaan diperusahaan untuk memecahkan masalah administrasi kantor yang sederhana hingga yang kompleks. *Software Microsoft Excel* pada penelitian ini bertujuan untuk memudahkan dalam perhitungan data, salah satunya dapat memudahkan dalam membuat perhitungan pergerakan pesawat Bandara Sultan Hasanuddin. Setelah didapatkan hasil *forecasting* pergerakan pesawat pada tahun rencana, kemudian di butuhkan perhitungan volume pergerakan pesawat pada jam puncak sebagai berikut:

1. Volume pergerakan Harian rata-rata (*Average Daily*)

$$\text{Average Daily} = \frac{1}{365} \times \text{Annual Volume}$$

$$\text{Average Daily} = 0,002739 \times \text{Annual Volume}$$

2. Volume pergerakan Per jam rata-rata (*Average Hourly*)

$$\text{Average Hourly} = \frac{1}{24} \times \text{Daily Volume}$$

$$\text{Average Hourly} = 0,04167 \times \text{Daily Volume}$$

3. Volume pergerakan jam puncak (*Peak Hour*)

$$\text{Peak Hour} = \frac{1}{12} \times \text{Daily Volume}$$

$$\text{Peak Hour} = 0,08333 \times \text{Daily Volume}$$