

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Klasifikasi Pesawat Terbang

Untuk keperluan perhitungan kapasitas landasan pacu pada penelitian ini, pesawat terbang diklasifikasikan berdasarkan dua kategori yaitu *Maximum Takeoff Weight (MTOW)* dan *approach speed*. Klasifikasi tersebut ditunjukkan pada tabl 3.1 dan 3.2. Klasifikasi pesawat terbang diperlukan untuk memenuhi kriteria separasi pesawat terbang di ruang udara. Separasi pesawat terbang telah diatur tersendiri dengan mempertimbangkan *wake vortices* atau pusaran angin yang dilakukan pesawat terbang yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.

Tabel 3.1 Klasifikasi Pesawat Terbang Berdasarkan MTOW

Kelas Pesawat	Kelas menurut turbulensi gelombang	Jumlah mesin	MTOW (lb)
A	Kecil	Tunggal	$\leq 12500$
B	Kecil	Banyak	$\leq 12500$
C	Besar	Banyak	12500 – 300000
D	Besar	Banyak	$\geq 300000$

(sumber : FAA AC 150 5060-5)

Tabel 3.2 Klasifikasi Pesawat Terbang Berdasarkan *Approach Speed*

Kelas	Kecepatan (knot)
A	< 90
B	91 – 120
C	121 – 140
D	141 – 165
E	166 - 210

(sumber : ICAO doc 8168-Aircraft Operations-Vol I-Flight Procedure)

Adapun daftar tipe pesawat yang digolongkan berdasarkan MTOW dan approach speed ditampilkan dalam tabel 3.3 dan tabel 3.4 berikut :

Tabel 3.3 Tipe Pesawat Yang Digolongkan Berdasarkan MTOW

Kelas Pesawat	Tipe Pesawat
A	Antonov AN-14, semua seri Beech Baron dan Bonanza
B	Beech Airliner, MD-3, Cessna Citation, Embraer
C	Semua seri Boeing 737, Semua seri Boeing 727, Semua seri Boeing 757, Airbus 321-200, semua seri Airbus 330, MD-82, MD-83, MD-90, MD-93
D	Semua seri Boeing 747, semua seri Boeing 767 semua seri Boeing 777, semua seri Airbus 220, semua seri Airbus 340, MD-11

Sumber : FAA (1983)

Tabel 3.4 Tipe Pesawat Yang Digolongkan Berdasar *Approach Speed*

Kelas Pesawat	Tipe Pesawat
A	Antonov AN-14, AN-28, Beech Bonanza, Cessna
B	Antonov 24, Beechcraft 1900/1900C, Fairchild Dornier Do.328
C	Semua seri Boeing 737(kecuali B738 dan B739), ATR 42 semua seri Boeing 727, Boeing 757-200, Boeing 777-200 semua seri Airbus 310, semua seri Airbus 319, Airbus 300-600 semua seri Airbus 320, semua seri Airbus 330, Antonov 12 semua seri Canadair, Douglas DC-10, Fokker 100, MD-80 Gates Learjet 5, MD-82, MD-83, MD-90
D	Semua seri Airbus 340, Boeing 737-800, Boeing 737-900, semua seri Boeing 747, Boeing 757-300, semua seri Boeing 767 semua seri Boeing 777 (kecuali Boeing 777-200), Gates Learjet 4 Ilyushin 96, MD-11
E	tupolev TU-144

Sumber : FAA (1983)

### **3.2. Perhitungan Kapasitas Landasan pacu**

Seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya definisi perhitungan terhadap kapasitas landasan pacu ada dua cara, yang pertama ialah jumlah operasi pesawat terbang selama interval waktu tertentu terhadap tingkat penundaan yang dapat diterima disebut kapasitas praktis. Definisi lain ialah jumlah maksimum operasi pesawat terbang dalam jangka waktu tertentu yang disebut kapasitas ultimit. Perbedaan dari kedua definisi tersebut terletak pada penundaan. Pada penelitian ini perhitungan kapasitas landasan pacu yang digunakan ialah teori waktu-jarak yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

#### **3.2.1. Metode FAA**

*Federal Aviation Administration* (FAA) yang menyediakan panduan terhadap perhitungan kapasitas landasan pacu untuk komposisi pesawat yang berbeda, konfigurasi *runway* berbeda, dan letak *exit taxiway* yang berbeda-beda pula. Panduan ini tertuang dalam *FAA Advisory Circular (AC) 150/5060-5, Airport Capacity and Delay 1983* yang direvisi tahun 1995. Kapasitas landasan pacu dihitung berdasarkan pemodelan operasi campuran yang didasarkan pada perhitungan dibawah ini :

1. Kedatangan memiliki prioritas dibanding keberangkatan.
2. Hanya satu pesawat yang dapat berada di landasan pacu pada sembarang waktu.

3. Keberangkatan tidak dapat dilaksanakan apabila pesawat yang datang berikutnya berada pada jarak yang kurang dari suatu jarak tertentu dari ambang landasan pacu, biasanya 2 nmi (nautical mile) dalam kondisi IFR.
4. Keberangkatan yang berurutan diatur sehingga pemisahan waktu minimumnya sama dengan waktu pelayanan keberangkatan.

Berdasarkan metode FAA, terdapat beberapa factor yang mempengaruhi kapasitas landasan pacu, diantaranya :

1. Standar separasi dan cuaca

Standar separasi yang dimaksud adalah pemisahan yang dilakukan dalam hal waktu atau jarak antar pesawat di ruang udara. Hal ini untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan apabila terjadi, pesawat dapat mengelak tepat waktu. Separasi ini bekerja pada dua kondisi cuaca :

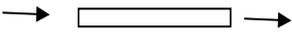
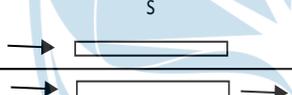
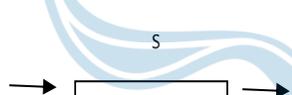
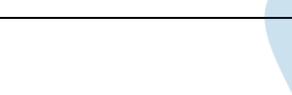
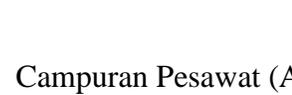
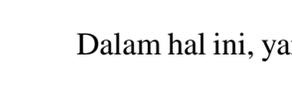
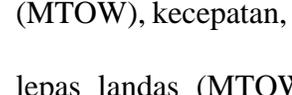
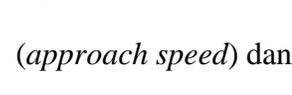
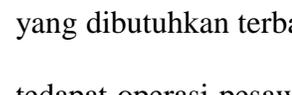
- a. Kondisi VFR (*Visual Flight Rules*). Kondisi ini dilakukan pada kondisi cuaca yang sedemikian rupa sehingga pesawat terbang dapat mempertahankan jarak pisah yang aman dengan cara-cara visual atau keadaan cuaca dan jarak pandang bagus. Kecepatan pesawat yang relatif tinggi mewajibkan jarak pandang yang cukup jauh juga. Kondisi VFR ini mengikuti acuan tanda-tanda alam seperti sungai, gunung, pantai, dan sebagainya.

b. Kondisi IFR (*Instrument Flight Rules*). Kondisi ini berlaku apabila jarak pandang terbatas berada dibawah yang ditentukan VFR atau berada dalam kondisi cuaca yang kurang baik. Dalam kondisi ini jarak pisah anatar pesawat merupakan tanggung jawab petugas pengendali lalulintas udara (*controller*). Selain kondisi cuaca yang buruk penerbang dapat terbang secara IFR pada saat ingin mencapai ketinggian yang lebih tinggi sehingga mampu dipantau oleh radar ATC.

## 2. Konfigurasi Landasan pacu

Konfigurasi landasan pacu yang dimaksud adalah panjang, jumlah, lokasi, dan arah landasan pacu yang aktif. Selain itu juga melibatkan strategi arah dan tipe operasi yang digunakan di masing-masing landasan pacu baik operasi keberangkatan maupun kedatangan. Adapun konfigurasi dari landasan pacu use yang diterapkan oleh FAA sebagai berikut

Tabel 3.5 Konfigurasi Landasan pacu *Use Diagram*

RUNWAY	NO	RUNWAY SPACING	FIGURE NO.			
			FOR CAPACITY		FOR DELAY	
			VFR	IFR	VFR	IFR
	1	N.A.	2-3	2-43	2-73	2-89
	2	700 or more	2-4	2-44	2-71	2-90
	3	700 to 2499	2-5	2-44	2-72	2-90
	4	2500 to 3499	2-6	2-44	2-73	2-90
	5	3500 or more	2-6	2-45	2-73	2-91
	6	700 to 2499	2-7	2-44	2-74	2-90
	7	2500 to 4299	2-8	2-46	2-74	2-92
	8	4300 or more	2-8	2-47	2-74	2-93
	9	700 to 2499	2-9	2-44	2-70	2-90
	10	2500 to 3499	2-10	2-48	2-70	2-94
	11	3500 to 4299	2-10	2-49	2-70	2-95
	12	4300 or more	2-10	2-50	2-70	2-96

### 3. Campuran Pesawat (Aircraft Mix)

Dalam hal ini, yang terpenting adalah *maximum take off weight* (MTOW), kecepatan, dan instrument. Bobot pesawat maksimum saat lepas landas (MTOW) berkaitan dengan kecepatan lepas landas (*approach speed*) dan hal ini berhubungan dengan pengaturan waktu yang dibutuhkan terbang pada pemisahan standar. Terutama apabila terdapat operasi pesawat yang berada di belakang pesawat berbadan

lebar (*wide body*). Pada kasus ini harus ada jarak pemisah yang aman antar pesawat, karena adanya pengaruh udara yang berputar di belakang pesawat (*wake turbulence*). Semakin besar perbedaan kelas pesawat yang beroperasi, maka semakin besar pula jarak aman yang dibutuhkan. Oleh karena itu, kelas campuran pesawat sangat menentukan pemakaian landasan pacu dan akhirnya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas landasan pacu.

Kelas campuran pesawat harus dikonversi ke suatu satuan indeks campuran untuk menentukan kapasitas landasan pacu pada operasi campuran. Indeks campuran tersebut dijelaskan dalam persamaan 3.1

Berikut :

$$\text{Indeks campuran (Mix Index)} = (C+3D)\% \quad (3.1)$$

Dengan :

C : presentase pesawat terbang kelas C dalam campuran pesawat yang menggunakan landasan pacu.

D : presentase pesawat terbang kelas D dalam campuran pesawat yang menggunakan landasan pacu.

#### 4. Presentase operasi kedatangan/Arrival (PA)

Presentase dari semua operasi kedatangan pesawat memiliki pengaruh penting pada perhitungan kapasitas per jam landasan pacu. Contohnya, sebuah landasan pacu yang digunakan khusus operasi

kedatangan saja akan memiliki kapasitas yang berbeda dengan landasan pacu yang digunakan untuk keberangkatan saja atau operasi campuran. Adapun rumus yang digunakan adalah dalam persamaan 3.2 Berikut :

$$PA = \frac{A + 0,5 (T+G)}{A+D+(T+G)} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dengan :

A = jumlah operasi kedatangan dalam satu jam

D = jumlah operasi keberangkatan dalam satu jam

T+G= jumlah operasi touch and go dalam satu jam

#### 5. Presentase operasi tak menentu (*touch and go*)

Operasi touch and go merupakan pergerakan pesawat yang mendarat kemudian kembali lepas landas tanpa melakukan perhentian secara total, sehingga dihitung sebagai dua buah pesawat terbang. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan presentasi touch and go pada persamaan 3.3 ialah :

$$\% \text{ touch and go} = \frac{(T+G)}{A+D+(T+G)} \times 100 \quad (3.3)$$

Dengan :

A = jumlah operasi kedatangan dalam satu jam

D = jumlah operasi keberangkatan dalam satu jam

T+G= jumlah operasi touch and go dalam satu jam

## 6. Jumlah dan lokasi exit taxiway

Kapasitas per jam landasan pacu dipengaruhi oleh waktu pemakaian landasan pacu dan waktu pemakaian landasan pacu sangat dipengaruhi oleh lokasi *exit taxiway*. Lokasi *exit taxiway* ini diukur dari ambang kedatangan (*threshold*) di landasan pacu. *Exit taxiway* harus ditempatkan pada posisi yang menghasilkan waktu pemakaian landasan pacu minimum. Apabila hal tidak ini dilakukan, kapasitas akan berkurang karena adanya waktu pemakaian landasan pacu secara berlebih.

Jika parameter-parameter diatas telah diketahui maka kapasitas landasan pacu dapat ditentukan dengan menggunakan sekumpulan grafik yang telah diterbitkan oleh FAA. Melalui metode ini, kapasitas per jam dapat diperoleh dari rumus pada persamaan 3.4 Sebagai berikut.

$$C = C^* \times E \times T \quad (3.4)$$

Dengan :

C = kapasitas per jam konfigurasi pemakaian landasan pacu dalam operasi-operasi per jam.

C\* = kapasitas ideal atau dasar konfigurasi pemakaian landasan pacu (*hourly capacity base*)

E = factor penyesuaian exit taxiway untuk jumlah dan lokasi dari landasan pacu

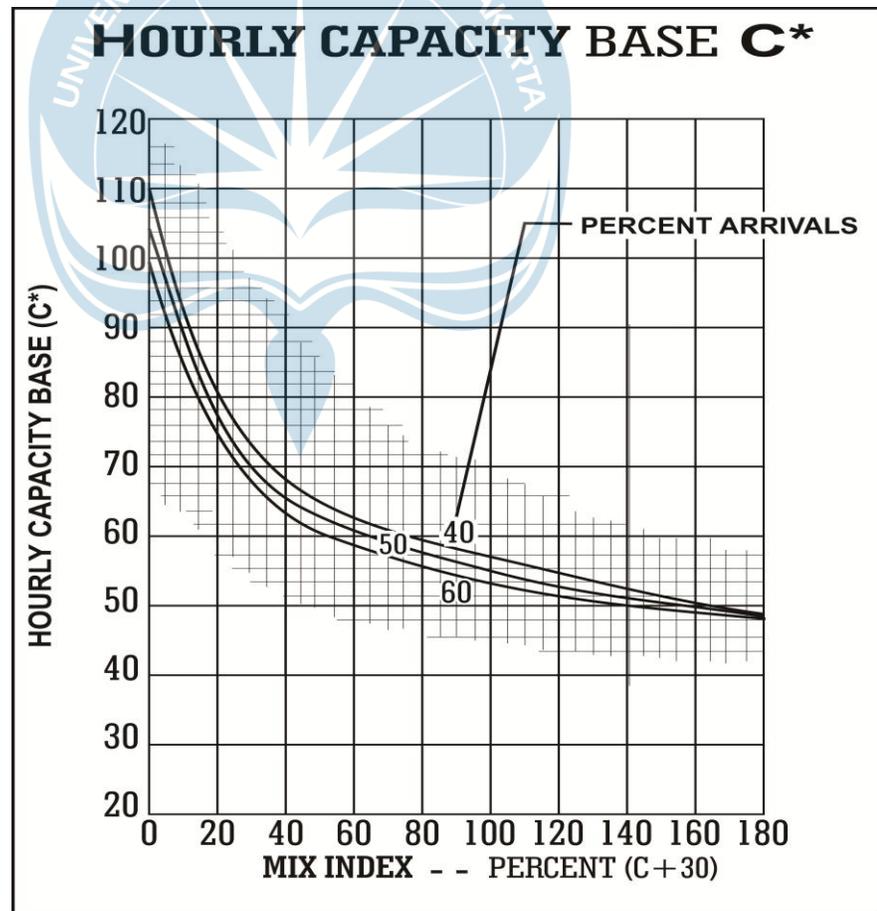
T = faktor penyesuaian tak menentu (*touch and go*)

Sementara itu untuk menentukan nilai  $C^*$  dan E, penyesuaian terhadap kondisi VFR atau IFR harus dilakukan seperti berikut.

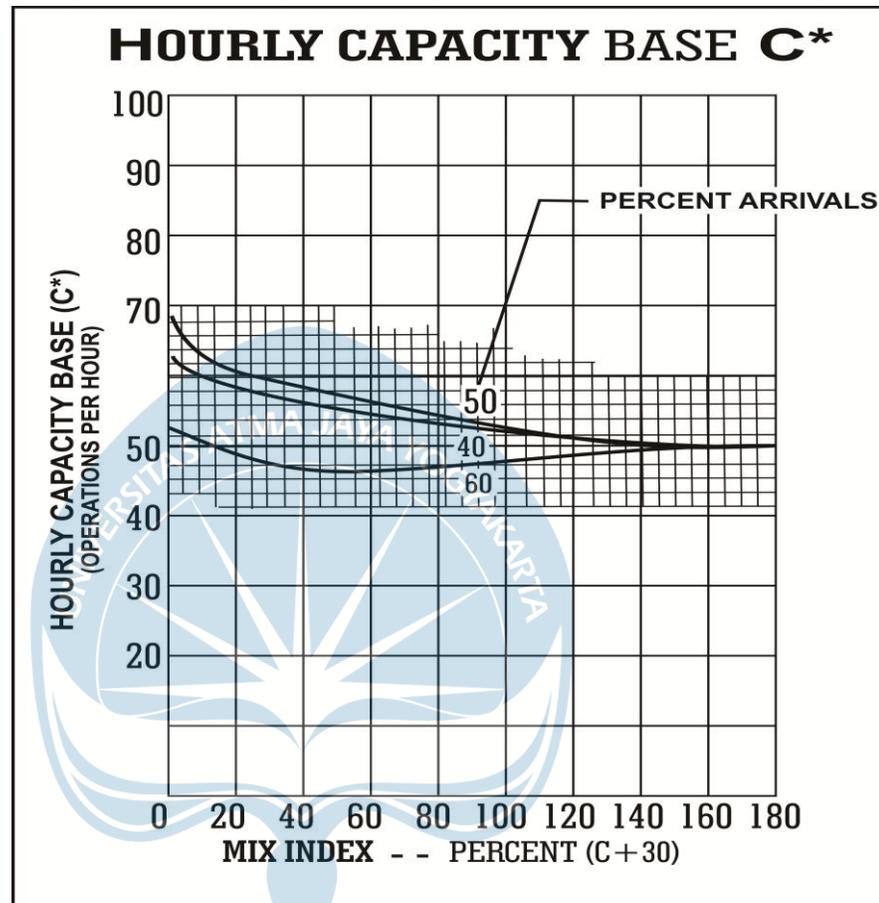
a. Penentuan nilai  $C^*$

Diperoleh berdasarkan penyesuaian terhadap *mix index* landasan pacu melalui gambar 3.1 dan 3.2 Berikut berdasarkan konfigurasi landasan pacu yang telah ditentukan pada tabel 3.1

Gambar 3.1 Grafik penentuan *hourly capacity base* VFR



Sumber : FAA diagram no 2-3

Gambar 3.2 Grafik penentuan *hourly capacity base IFR*

Sumber : FAA diagram no 2-43

b. Factor *Touch and Go*

Nilai touch and go diambil 1 pada kondisi IFR, sedangkan nilai touch and go pada kondisi VFR dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Penentuan *Touch and Go Factor* Kondisi VFR

<i>Touch and Go</i>	<i>Mix Index (%)</i>	Faktor <i>Touch and Go</i>
0	0 - 180	1
1 - 10	0 - 70	1,04
11 - 20	0 - 70	1,1
21-30	0 - 40	1,2
31-40	0 - 10	1,3
41-50	0 - 10	1,4

Sumber : FAA (1983)

c. Nilai E dapat ditentukan berdasarkan ketentuan-ketentuan berikut:

- 1) Menentukan jarak lokasi exit taxiway berdasarkan mix index yang telah dihitung
- 2) Untuk landasan pacu khusus kedatangan, jumlah exit taxiway rata-rata ditentukan dengan syarat : berada pada lokasi exit taxiway yang telah ditentukan, dan lokasi exit taxiway dipisahkan minimal 750 ft.

- 3) Jika jumlah *exit taxiway* (N) adalah 4 atau lebih, maka nilai E =  
1
- 4) Jika jumlah N kurang dari 4, dapat dilihat pada tabel 3.7 untuk kondisi VFR, dan tabel 3.8 untuk kondisi IFR.



Tabel 3.7 Penentuan nilai exit factor E kondisi VFR

Mix Index %	Jarak Exit Taxiway dari Threshold (n)	Exit Factor								
		40 % arrival			50 % arrival			60 % arrival		
		N=0	N=1	N=2 or N=3	N=0	N=1	N=2 or N=3	N=0	N=1	N=2 or N=3
0 - 20	2000 - 4000	0,72	0,87	0,94	0,70	0,86	0,94	0,67	0,84	0,92
21 - 50	3000 - 5500	0,79	0,86	0,94	0,76	0,84	0,93	0,72	0,81	0,90
51 - 80	3500 - 6500	0,79	0,86	0,92	0,76	0,83	0,91	0,73	0,81	0,90
81 - 120	5000 - 7000	0,82	0,89	0,93	0,80	0,88	0,94	0,77	0,86	0,93
121 - 180	5500 - 7500	0,86	0,94	0,98	0,80	0,91	0,96	0,79	0,91	0,97

Sumber : FAA (1983)

Tabel 3.8 Penentuan nilai exit factor E kondisi IFR

Mix Index %	Jarak Exit Taxiway dari Threshold (n)	Exit Factor								
		40 % arrival			50 % arrival			60 % arrival		
		N=0	N=1	N=2 or N=3	N=0	N=1	N=2 or N=3	N=0	N=1	N=2 or N=3
0 - 20	2000 - 4000	0,81	0,91	0,96	0,83	0,95	0,99	0,92	1,00	1,00
21 - 50	3000 - 5500	0,79	0,86	0,92	0,77	0,85	0,92	0,89	0,98	1,00
51 - 80	3500 - 6500	0,81	0,87	0,93	0,77	0,83	0,91	0,90	0,98	1,00
81 - 120	5000 - 7000	0,83	0,89	0,94	0,80	0,86	0,92	0,83	0,91	0,97
121 - 180	5500 - 7500	0,80	0,94	0,98	0,83	0,91	0,96	0,79	0,89	0,95

Sumber : FAA (1983)

### 3.2.2. Metode Analitis

Dalam melakukan analisis digunakan metodologi pendekatan untuk perhitungan kapasitas yang tidak berkaitan dengan penundaan. Adapun model pendekatan yang dipakai antara lain:

1. Model kedatangan saja dalam keadaan bebas kesalahan.

Kapasitas bebas kesalahan didapat berdasarkan waktu dari dua pesawat terbang yang akan datang berurutan saat melewati ambang batas landasan pacu. Pesawat dikelompokkan menjadi beberapa kelas berdasarkan *approach speed* saat akan *landing* ke landasan pacu.

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i \quad (3.5)$$

Dimana :

$\Delta T_{ij}$  = separasi waktu sebenarnya pada landasan pacu *threshold* untuk dua *arrival* yang berurutan, pesawat terbang dengan kelas kecepatan i diikuti dengan pesawat terbang dengan kelas kecepatan j.

$T_i$  = waktu dari pesawat terbang *leading*, i, melewati landasan pacu *threshold*.

$T_j$  = waktu dari pesawat terbang *trailing*, j, melewati landasan pacu *threshold*.

$m_{ij}$  = minimum separasi error free *interarrival* pada landasan pacu *threshold*, yang sama dengan  $\Delta T_{ij}$  pada kasus error free.

$P_i$  sebagai presentase pesawat terbang dengan kecepatan  $I$ , dan  $P_j$  sebagai presentase pesawat terbang dengan kecepatan  $j$  saat akan memasuki landasan pacu.

$$E\Delta T_{ij} = \sum [p_{ij}] [M_{ij}] \quad (3.6)$$

dimana

$E(\Delta T_{ij})$  = nilai *service time* yang diharapkan, atau waktu interarrival, pada Landasan pacu *threshold* untuk campuran pesawat terbang *arrival*.

$P_{ij}$  = probabilitas dimana pesawat terbang *leading*  $i$  akan diikuti pesawat terbang *trailing*  $j$  kemudian.

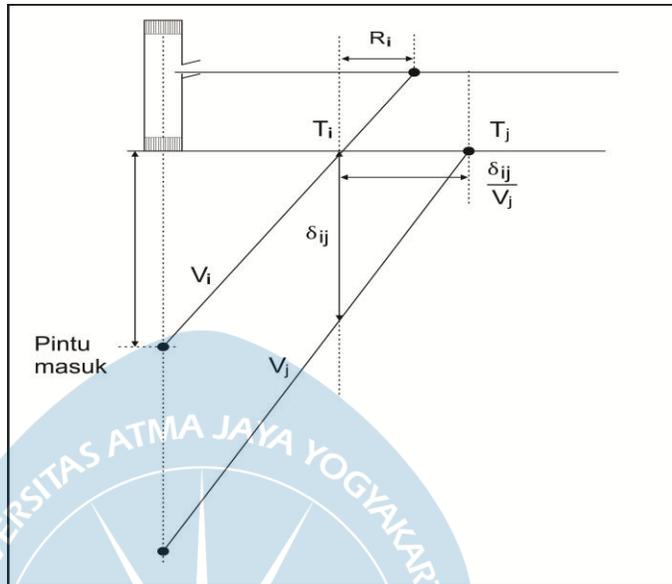
$[p_{ij}]$  = matriks dari probabilitas tersebut.

$[M_{ij}]$  = matriks dari separasi minimum interarrival  $m_{ij}$ .

Kapasitas dari *arrival* diberikan sebagai berikut :

$$C_a = \frac{1}{E \Delta T_q} \quad (3.7)$$

$C_a$  merupakan kapasitas landasan pacu untuk memproses campuran pesawat terbang tersebut. Waktu antar kedatangan didapatkan dengan memperhatikan kecepatan pesawat terbang *leading*,  $V_i$  dan pesawat terbang *trailing*,  $V_j$ . Kondisi tersebut dapat diilustrasikan melalui diagram *space time* pada Gambar 3.3 sampai dengan 3.5



Gambar 3.3 Diagram waktu-jarak antar kedatangan , keadaan merapat  $V_i > V_j$

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Pada diagram tersebut digunakan notasi – notasi sebagai berikut:

$\gamma$  = panjang dari *common approach path*

$\delta$  = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j, di manapun selama berada di *common approach path*.

$V_i$  = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas i

$V_j$  = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k

$R_i$  = *runway occupancy time* dari pesawat terbang *leading*.

a. Keadaan merapat ( $V_i \leq V_j$ )

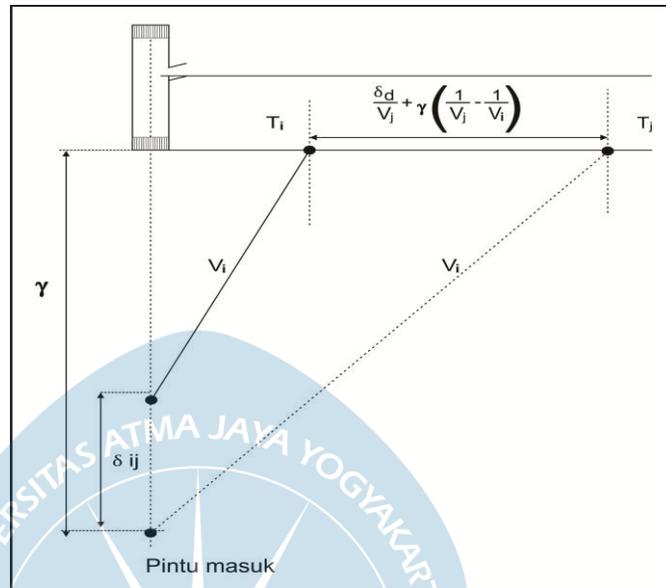
Pada keadaan ini kedatangan antar dua pesawat terbang yang berurutan dengan kecepatan pesawat yang didepan lebih kecil daripada kecepatan pesawat yang berada di belakang, maka persamaan pada keadaan ini adalah :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_j} \quad (3.8)$$

b. Keadaan merenggang ( $V_i \geq V_j$ )

Pada keadaan ini kecepatan pesawat yang didepan lebih besar daripada kecepatan pesawat yang dibelakang, maka persamaan pada keadaan ini adalah :

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{v_j} + \gamma \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \quad (3.9)$$



Gambar 3.4 Diagram waktu-jarak antar kedatangan keadaan merenggang dimana  $V_i > V_j$ , pengendalian pesawat pada jalur masuk hingga ke ambang landasan pacu

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Pada diagram tersebut digunakan notasi – notasi sebagai berikut:

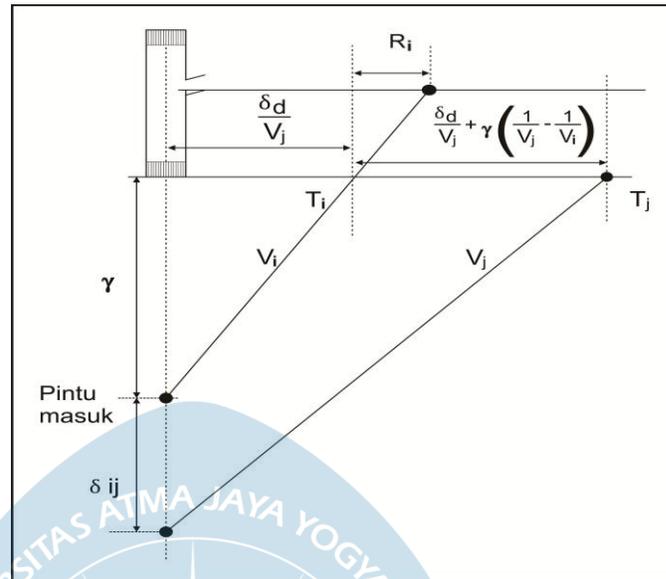
$\gamma$  = panjang dari *common approach path*

$\delta$  = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j, di manapun selama berada di *common approach path*.

$V_i$  = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas i

$V_j$  = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k

$R_i$  = landasan pacu *occupancy time* dari pesawat terbang *leading*.



Gambar 3.5 Diagram waktu-jarak antar kedatangan, keadaan merenggang dimana  $V_i > V_j$ , untuk kedua pesawat terbang yang terpisah disekitar jalur masuk

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Pada diagram tersebut digunakan notasi – notasi sebagai berikut:

$\gamma$  = panjang dari *common approach path*

$\delta$  = jarak separasi minimum yang diijinkan antara dua pesawat terbang, pesawat terbang *leading* i dan pesawat terbang *trailing* j, di manapun selama berada di *common approach path*.

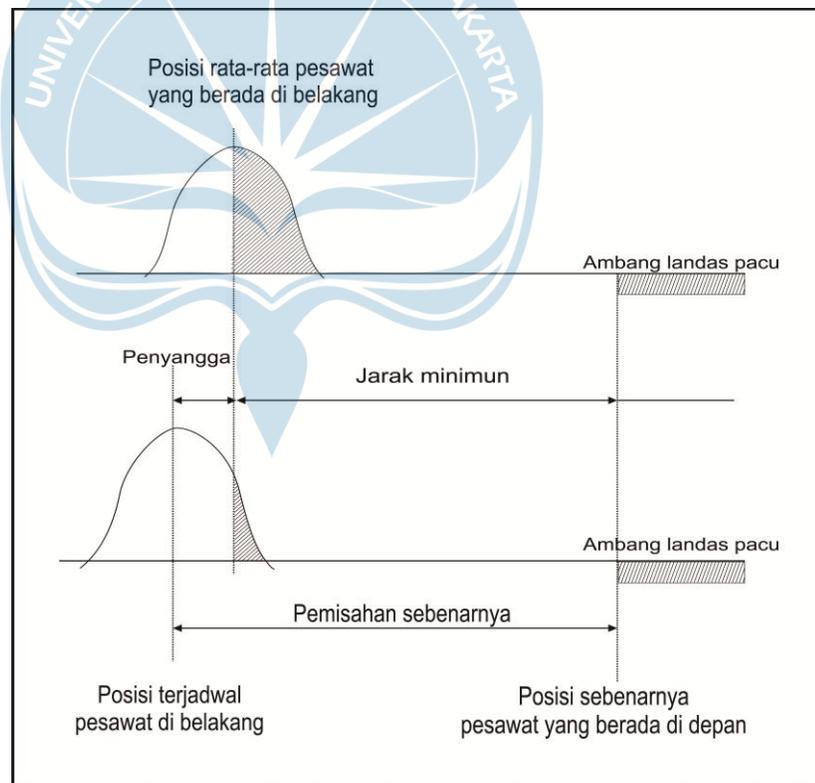
$V_i$  = *approach speed* dari pesawat terbang *leading* kelas i

$V_j$  = *approach speed* dari pesawat terbang *trailing* kelas k

$R_i$  = landasan pacu *occupancy time* dari pesawat terbang *leading*.

## 2. Model kedatangan saja dalam keadaan kesalahan posisi.

Pemodelan pada keadaan ini dimaksudkan untuk mengatasi kesalahan posisi pada pesawat yang datang berurutan, untuk itu perlu ditambahkan waktu sangga terhadap separasi waktu pisah minimum. Waktu sangga yang digunakan para pengendali lalu lintas udara sudah dijadwalkan sehingga probabilitas pelanggaran terhadap aturan separasi minimum masih berada pada tingkatan yang dapat diterima.



Gambar 3.6 Ilustrasi jarak waktu sangga pada pemisah sebenarnya

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Dalam kenyataannya, *air traffic controllers* menjadwalkan pesawat terbang dengan sudah memperhitungkan waktu-sangga, sehingga pelanggaran dari peraturan separasi minimum berada pada level yang dapat diterima. Pada pemodelan keadaan merapat nilai waktu-sangga dianggap konstan. Pada keadaan merenggang waktu-sangga tidak berupa nilai yang konstan dan biasanya nilainya lebih kecil dibanding pada keadaan merapat. Pemodelan untuk waktu-sangga ditandai dengan matriks dari waktu-sangga  $[B_{ij}]$  untuk pesawat terbang kelas  $i$  diikuti dengan pesawat terbang kelas  $j$ . Matriks ini ditambahkan pada matriks kealahan posisi untuk menentukan matriks waktu antar kedatangan yang sebenarnya dari kapasitas yang akan dicari. Hubungannya ditunjukkan sebagai berikut :

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum [P_{ij}][M_{ij} + B_{ij}] \quad (3.10)$$

dimana :

$E(\Delta T_{ij})$  = Nilai perkiraan waktu antar kedatangan

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

$[P_{ij}]$  = Matriks dari  $P_{ij}$

$[M_{ij}]$  = Matriks separasi waktu antar kedatangan

a. Keadaan merapat ( $V_i < V_j$ )

Pada keadaan ini kedatangan antar dua pesawat terbang yang berurutan dengan kecepatan pesawat yang didepan lebih kecil daripada kecepatan pesawat yang berada di belakang. Dimisalkan  $\Delta T_{ij}$  merupakan selang waktu minimum sebenarnya antara pesawat kelas  $i$  dan kelas  $j$ , serta diasumsikan waktu pemakaian landasan pacu lebih kecil daripada  $\Delta T_{ij}$ . Nilai rata-rata  $\Delta T_{ij}$  adalah  $E(\Delta T_{ij}) + e_0$  sebagai suatu kesalahan acak yang didistribusikan secara normal, dengan simpangan baku  $\sigma_0$ . Maka setiap pasang kedatangan diperoleh persamaan:

$$\Delta T_{ij} = m_{ij} + b_{ij} \quad (3.11)$$

dan

$$\Delta T_{ij} = m_{ij} + b_{ij} + e_0 \quad (3.12)$$

Pada keadaan ini, separasi jarak minimum pada ambang landasan pacu diberikan pada persamaan (3.8). Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mencari nilai sangga yang diperlukan pada probabilitas pelanggaran  $p_v$  tertentu, sehingga :

$$P_v = \text{Prob}(b_{ij} < -e_0) \quad (3.13)$$

Dengan menggunakan asumsi bahwa error terdistribusi normal dengan standar deviasi  $\sigma_0$ , nilai dari waktu-sangga dapat diperoleh :

$$B_{ij} = q_0 \sigma_v \quad (3.14)$$

b. Keadaan merenggang

Pada keadaan ini kedatangan kedua pesawat yang berurutan dengan kecepatan pesawat yang didepan lebih besar disbanding kecepatan pesawat yang dibelakang. Separasi yang terjadi antara kedua pesawat terbang meningkat pada saat di *entry gate*. Pemodelan untuk keadaan ini berdasarkan dari perkiraan bahwa pesawat terbang *trailing* harus dijadwalkan tidak kurang dari jarak  $\delta_{ij}$  dibelakang pesawat terbang *leading* saat pesawat terbang *leading* berada di *entry gate*, namun diasumsikan pula bahwa separasi yang tepat dilakukan oleh *air traffic control* hanya pada saat pesawat terbang *trailing* mencapai *entry gate*. Hal ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left( \frac{v_j}{v_i} - \frac{v_j}{v_i} \right) \quad (3.15)$$

dimana :

$B_{ij}$  = keadaan kesalahan posisi

$\sigma_0$  = standar deviasi

$q_v$  = nilai dimana distribusi normal standar kumulatif memiliki nilai  $(1 - p_v)$

### 3. Model untuk keberangkatan saja.

Biasanya pesawat terbang yang akan berangkat, diijinkan untuk *take-off* dengan mempertahankan interval waktu minimum antara pesawat terbang yang berangkat secara berurutan, maka waktu antar keberangkatan ( $t_d$ ), dan kapasitas landasan pacu untuk keberangkatan saja ( $C_d$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_d = \frac{3600}{E(t_d)} \quad (3.16)$$

dan

$$E(t_d) = \sum [P_{ij}] [t_d] \quad (3.17)$$

Dimana

$E(t_d)$  = waktu antar kedatangan.

$[p_{ij}]$  = matriks dari probabilitas pesawat terbang yang berangkat.

$[t_d]$  = matriks waktu antar kedatangan.

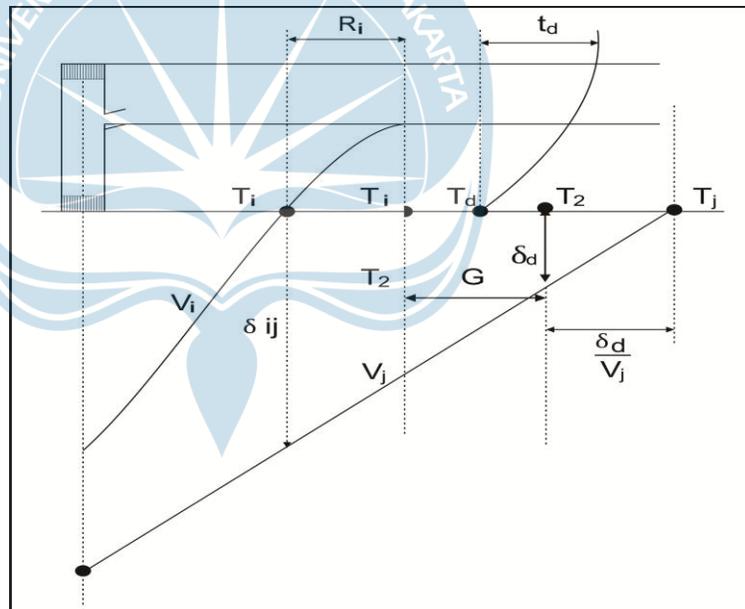
### 4. Model untuk operasi campuran.

Pemodelan yang dikembangkan oleh Airborne Instruments Laboratory ini harus mengikuti empat aturan operasi, yaitu :

- Prioritas untuk kedatangan diutamakan disbanding keberangkatan.

- Landasan pacu hanya boleh digunakan oleh satu pesawat per operasi.
- Keberangkatan tidak boleh dilakukan apabila kedatangan yang selanjutnya berjarak kurang dari 2 nmi pada kondisi IFR.
- Keberangkatan yang berurutan diberi jarak pada separasi waktu minimum.

Berikut dalam gambar 3.7 uraian aturan – aturan pada operasi campuran.



Gambar 3.7 Diagram waktu jarak antar kedatangan

Sumber : *Planning and Design of Airports*, Robert Horonjeff, 2010

Setelah diurutkan dengan separasi pemisahan minimum untuk pesawat terbang yang datang, maka keberangkatan tidak dapat

dilakukan kecuali terdapat perbedaan waktu  $G$  diantara kedatangan yang berurutan. Sehingga, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$G = T_2 - T_1 \geq 0 \quad (3.18)$$

Oleh karena itu dituliskan :

$$T_2 - T_1 > (T_j - \frac{\delta_d}{v_j}) - (T_i + R_i) > 0 \quad (3.19)$$

Untuk melakukan satu keberangkatan diantara dua kedatangan berurutan, didapat :

$$T_j - T_i > R_i + \frac{\delta_d}{v_j} \quad (3.20)$$

Melalui perluasan dari persamaan ini, waktu kedatangan rata-rata yang diperlukan  $E(\Delta T_{ij})$  untuk melakukan  $n_d$  keberangkatan diantara dua kedatangan berurutan diformulasikan sebagai berikut.

$$E(\Delta T_{ij}) > E[R_i] + E[\frac{\delta_d}{v_j}] + (n_d - 1) E(t_d) \quad (3.21)$$

Perlu diperhatikan bahwa bagian akhir dari persamaan tersebut akan bernilai nol jika hanya satu buah pesawat berangkat yang disisipkan diantara dua kedatannagan. Untuk menghitung pelanggaran dari *gap spacing* dapat keadaan kesalahan posisi.

Kapasitas untuk mixed operation diformulasikan sebagai berikut

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} \times 1 + (\sum nd P_{nd}) \quad (3.22)$$

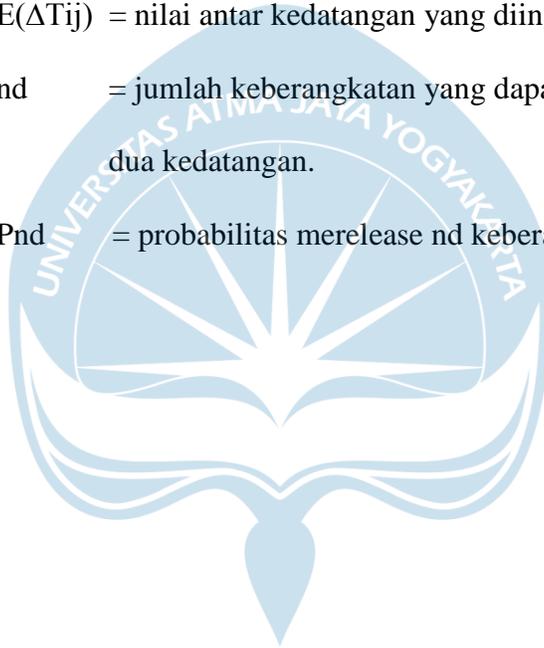
Dimana :

$C_m$  = kapasitas landasan pacu untuk memproses *mixed operation*.

$E(\Delta T_{ij})$  = nilai antar kedatangan yang diinginkan.

$nd$  = jumlah keberangkatan yang dapat direalisasikan antar dua kedatangan.

$P_{nd}$  = probabilitas merelease  $nd$  keberangkatan pada tiap *gap*.



### **3.3. Perhitungan Penundaan**

Penundaan didefinisikan sebagai perbedaan waktu yang terjadi antara waktu yang dibutuhkan pesawat terbang untuk melakukan pergerakan di landasan pacu tanpa gangguan dari pesawat terbang lainnya dengan waktu yang sesungguhnya terjadi bagi pesawat untuk melakukan pergerakan di landasan pacu. Untuk dapat menghitung penundaan, maka perlu diperhatikan permintaan pergerakan pesawat terbang yang ada. Pada penelitian ini, penundaan yang akan dihitung ialah penundaan yang terjadi dalam interval waktu satu jam.

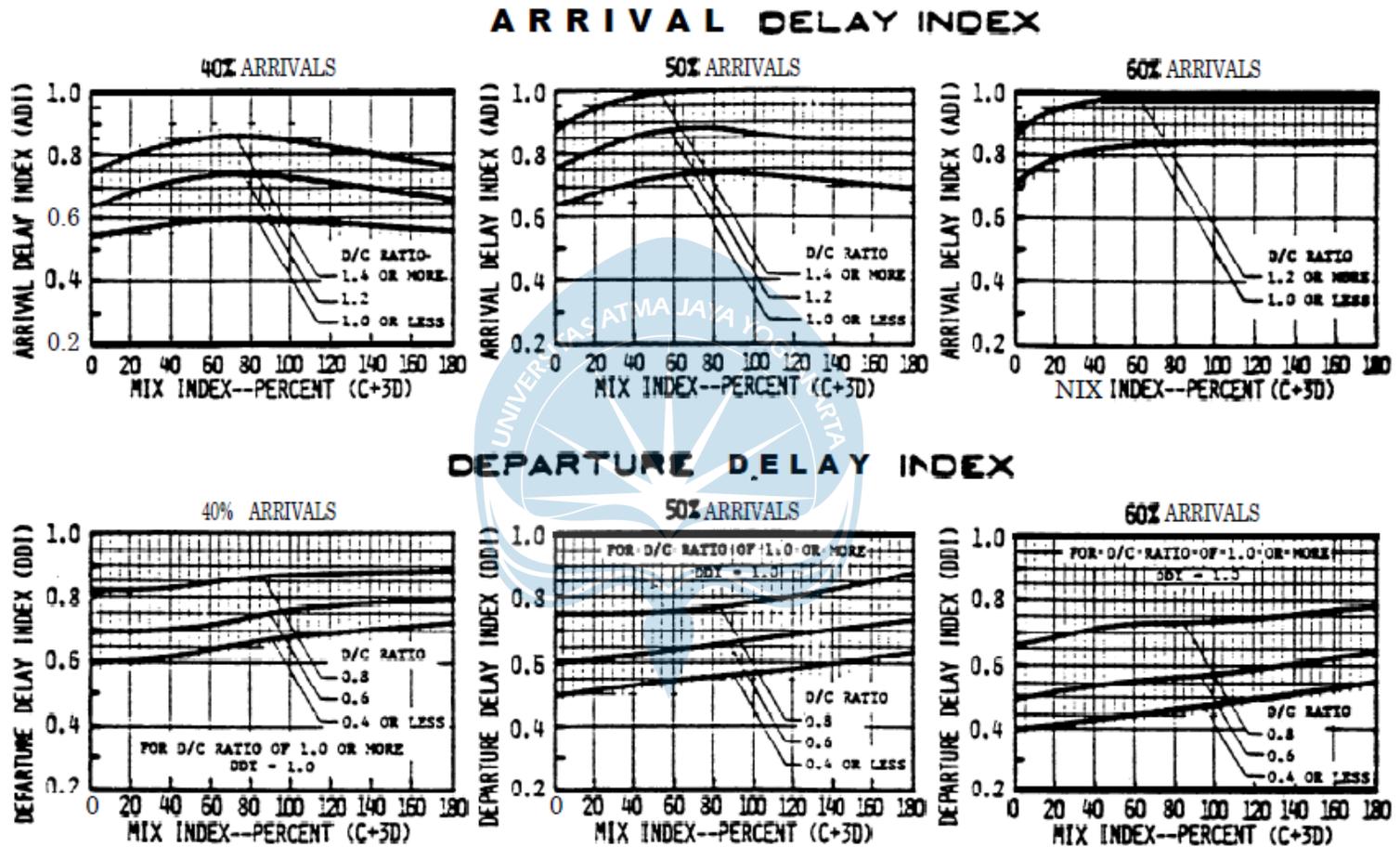
Perhitungan penundaan dengan metode FAA memerlukan input jumlah permintaan pergerakan pesawat terbang serta kapasitas landasan pacu yang bisa didapat dari prosedur perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya. Sesuai dengan Advisory Circular 150/5060-5, berikut adalah hal yang dibutuhkan untuk mendapatkan penundaan dengan metode FAA :

1. Rasio permintaan kapasitas landasan pacu per jam

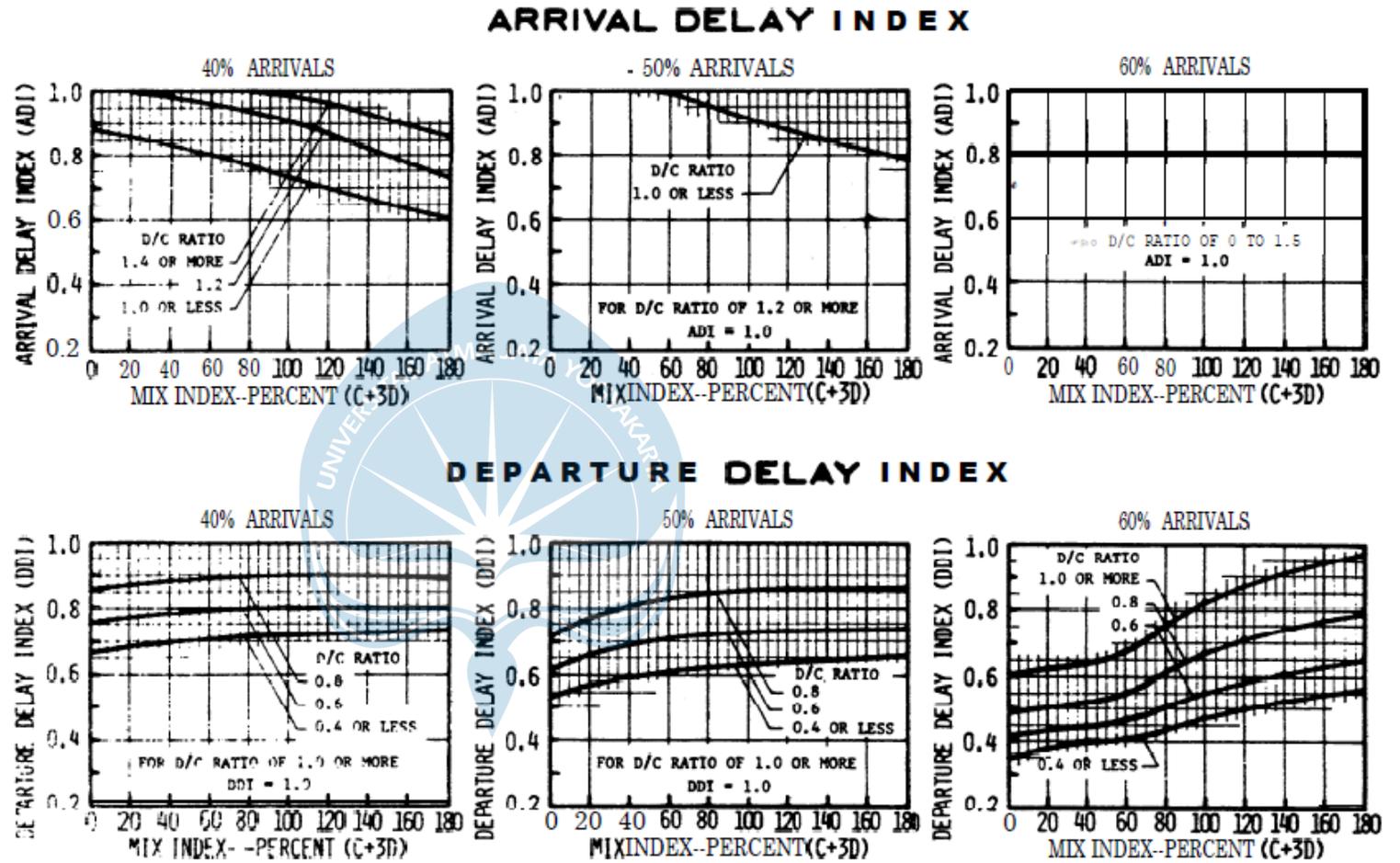
Merupakan perbandingan antara permintaan per jam dan kapasitas landasan pacu perjam atau biasa disebut D/C ratio.

2. *Arrival Delay Index (ADI)* dan *Departure Delay Index (DDI)*

ADI dan DDI bisa didapatkan dari grafik yang disediakan oleh FAA. Pada penelitian ini, grafik yang digunakan ditunjukkan dalam gambar 3.8 Dan 3.9



Gambar 3.8 Grafik Arrival Delay Index



Gambar 3.9 Departure Delay Index

3. *Arrival Delay Factor (ADF)* dan *Departure Delay Factor (DDF)*

ADF dan DDF didapatkan dari persamaan berikut :

$$ADF = ADI \times D/C \quad (3.23)$$

dan

$$DDF = DDI \times D/C \quad (3.24)$$

Dengan :

D/C = rasio permintaan dan kapasitas landasan pacu perjam

4. *Demand Profile Factor (DPF)*

DPF ialah presentase permintaan pergerakan pesawat terbang dalam satu jam yang terjadi dalam periode waktu 15 menit tersibuk, dan ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$DPF = Q/H \times 100 \quad (3.25)$$

Dengan :

Q = permintaan pergerakan pesawat dalam periode waktu 15 menit tersibuk dalam satu jam

H = permintaan pergerakan pesawat dalam satu jam

Jika hal-hal tersebut telah diketahui, maka penundaan reereata yang terjadi dalam satu jam untuk operasi keberangkatan dan kedatangan tiap pesawat terbang dapat diketahui dengan menggunakan sebuah grafik yang

salah satunya ditunjukkan dalam gambar 3.9. Penundaan yang terjadi dalam waktu satu jam dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$DTH = HD \{ [PA \times DAHA] + [(1 - PA) \times DAHD] \} \quad (3.26)$$

Dimana :

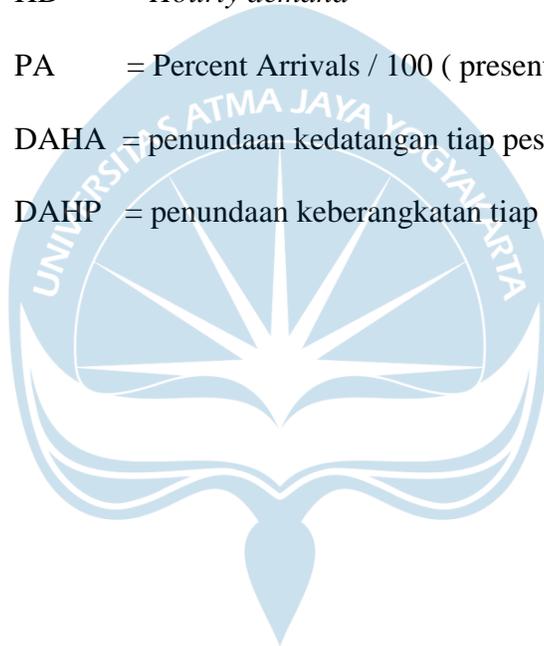
DTH = penundaan total seluruh pesawat terbang dalam satu jam

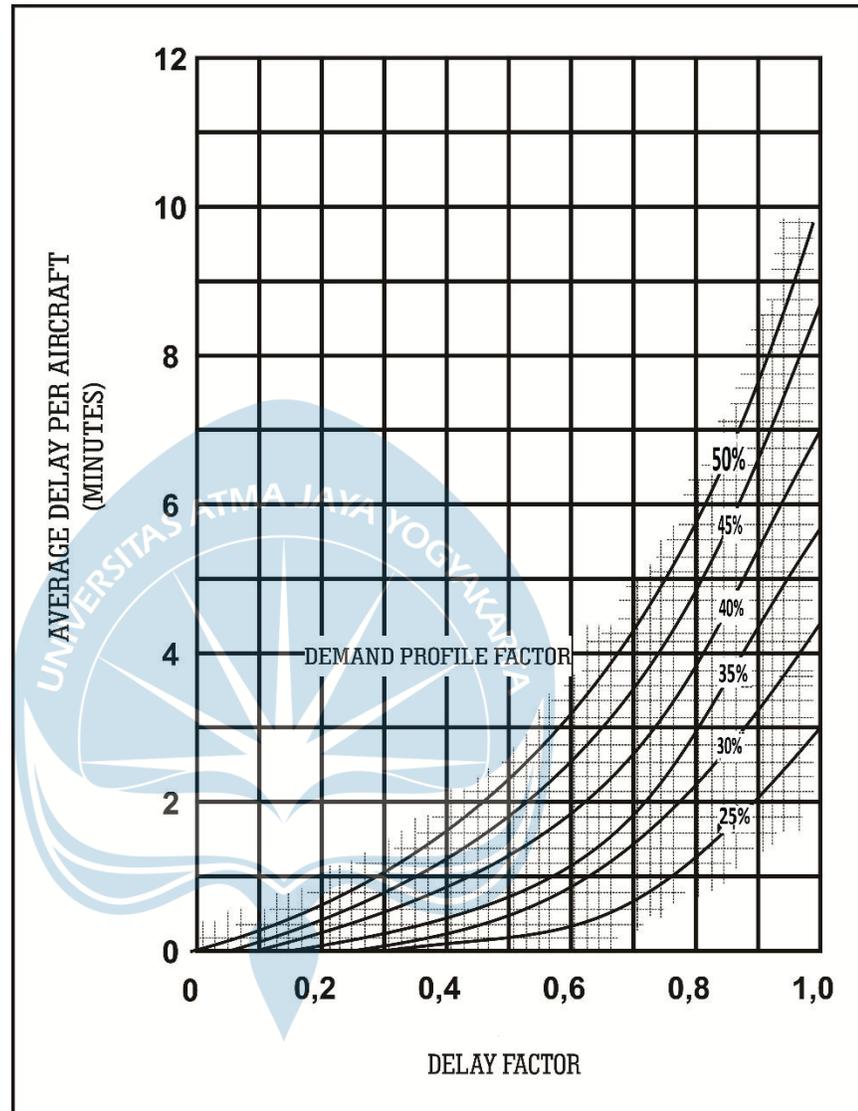
HD = *Hourly demand*

PA = Percent Arrivals / 100 ( presentase kedatangan / 100 )

DAHA = penundaan kedatangan tiap pesawat dalam satu jam

DAHP = penundaan keberangkatan tiap pesawat terbang satu jam





Gambar 3.10 Penundaan Tiap Pesawat Dalam Satu Jam

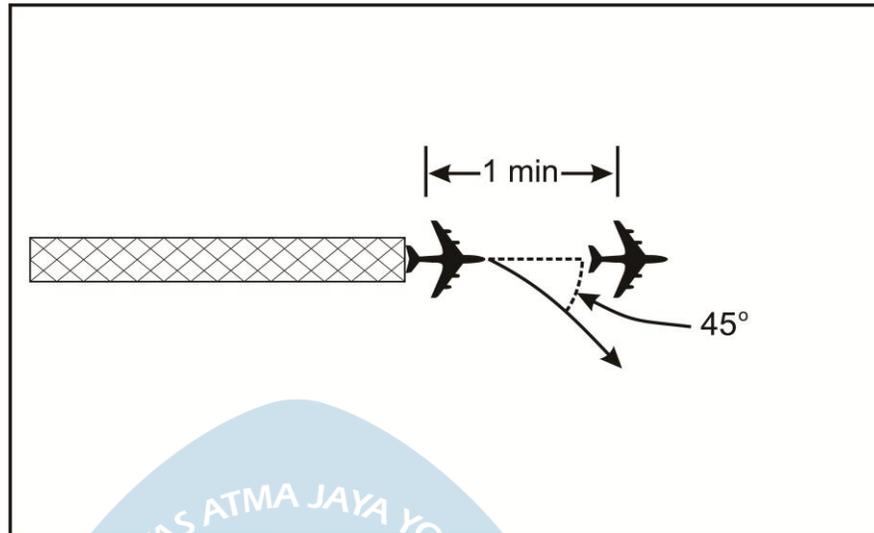
### **3.4. Peraturan Separasi Pesawat**

Separasi antar pesawat diperlukan karena berkaitan dengan factor keselamatan penerbangan. FAA dan ICAO telah mengatur ketentuan separasi antar pesawat tersebut.

#### **3.4.1. Aturan separasi pesawat menurut ICAO**

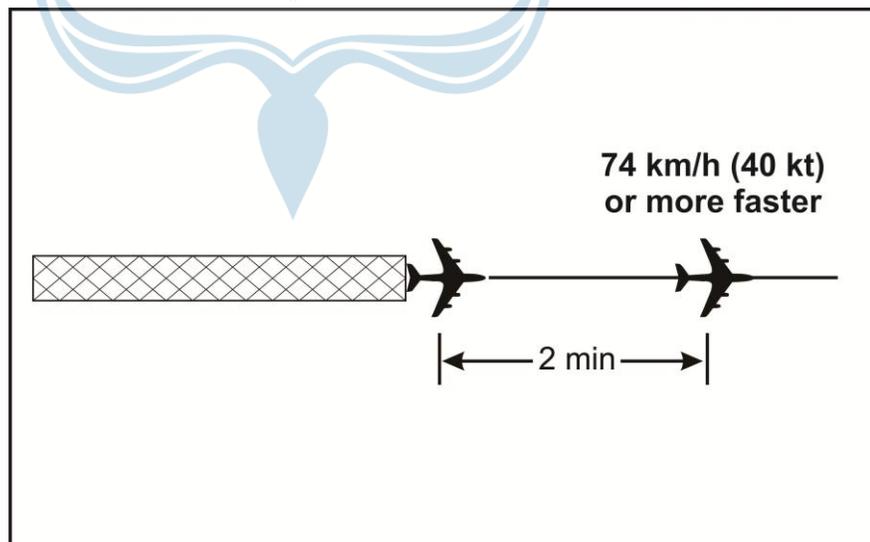
Aturan separasi pesawat menurut ketentuan ICAO diatur dalam ICAO Doc 4444 ATM/501. Terdapat ketentuan separasi sebagai berikut:

1. Separasi antar pesawat kedatangan dengan jarak longitudinal ditentukan sebesar 10 *nautical mile*.
2. Separasi keberangkatan pesawat yang dilakukan antara dua kedatangan diberlakukan bila izin bagi pesawat yang akan *takeoff* bergantung pada posisi pesawat yang akan datang.
  - a. Separasi pesawat sebesar satu menit jika pesawat yang akan terbang menyimpang 45 derajat segera setelah *takeoff*. Separasi ini diilustrasikan pada gambar 3.11.
  - b. Separasi pesawat sebesar dua menit jika kecepatan pesawat yang posisinya berada didepan 74km/jam (40 knot) atau lebih. Separasi ini diilustrasikan pada gambar 3.12.



Gambar 3.11 Waktu minimum keberangkatan pesawat dengan persyaratan sudut pemisah.

Sumber : Doc 4444-RAC/501/12 ICAO

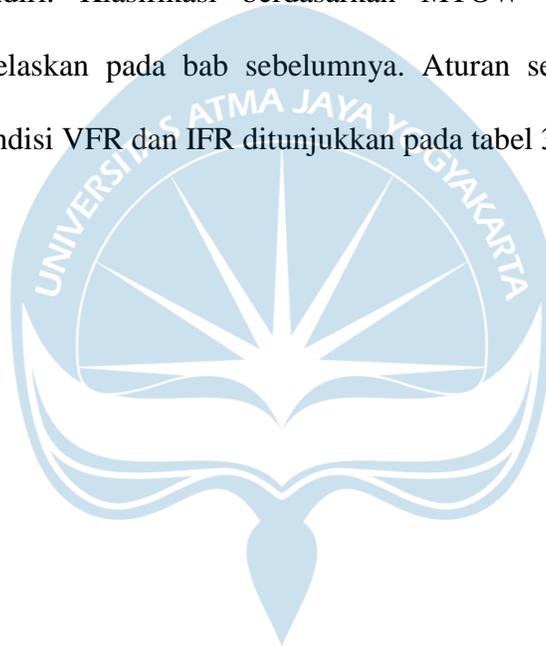


Gambar 3.12 Waktu minimum keberangkatan pesawat dengan persyaratan kecepatan.

Sumber : Doc 4444-RAC/501/12 ICAO

### 3.4.2. Aturan separasi pesawat menurut FAA

Aturan separasi pesawat menurut FAA berkaitan dengan ukuran pesawat terbang yang menghasilkan pusaran angin (wake vortices) saat melakukan pergerakan. Untuk mengatur separasinya, pesawat terbang diklasifikasikan sesuai MTOW yang dimiliki oleh pesawat terbang itu sendiri. Klasifikasi berdasarkan MTOW pesawat terbang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Aturan separasi ini berlaku pada kondisi VFR dan IFR ditunjukkan pada tabel 3.9 dan 3.10 berikut.



Tabel 3.9 Separasi Horizontal Pesawat Kedatangan (nmi)

Tipe pesawat posisi di depan	Tipe pesawat di belakang (VFR)			Tipe pesawat di belakang (IFR)		
	Heavy	Large	Small	Heavy	Large	Small
Heavy	2,7	3,6	4,5	4	5	6
Large	1,9	1,9	2,7	3	3	4
Small	1,9	1,9	1,9	3	3	3

Sumber : Horonjeff, 2010

Tabel 3.10 Separasi Waktu Antar Keberangkatan untuk pemakaian Runway yang sama (detik)

Tipe pesawat posisi di depan	Tipe pesawat di belakang (VFR)			Tipe pesawat di belakang (IFR)		
	Heavy	Large	Small	Heavy	Large	Small
Heavy	60	120	120	120	120	120
Large	90	60	50	60	60	60
Small	50	45	35	60	60	60

Sumber : Horonjeff, 2010

### 3.5. Runway Occupancy Time (ROT)

Menurut Horonjeff dan McKelvey dalam *Planning and Design of Airports*, untuk komponen pertama dapat diasumsikan bahwa kecepatan touchdown 5 sampai 8 kts lebih lambat daripada kecepatan saat melewati threshold landasan pacu. Bagian yang kedua adalah kira-kira 3 detik dan bagian yang ketiga tergantung pada kecepatan pesawat di exit *taxiway*. Besarnya perlambatan di udara kira-kira 0 - 2,5 ft/s<sup>2</sup>. Waktu yang diperlukan untuk membelok keluar dari landasan pacu kira-kira 10 detik. Berdasarkan sumber yang ada, maka dapat diasumsikan bahwa kecepatan *touchdown* pesawat kategori C 202 ft/s, dan D 237 ft/s. Kecepatan saat keluar landasan pacu untuk pesawat kategori C dan D 88ft/s. Jadi ROT total dalam detik dapat dihitung dengan persamaan 3.34 berikut :

$$R_i = \frac{V_{ot} - V_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{2a_2} + t \quad (3.26)$$

Dimana :

$R_i$  = *Runway Occupancy Time* (s)

$V_{ot}$  = Kecepatan saat melewati *threshold* landasan pacu (ft/s)

$V_{td}$  = Kecepatan saat menyentuh landasan pacu (ft/s)

$V_e$  = Kecepatan saat keluar landasan pacu (ft/s)

$t$  = Waktu untuk membelok keluar dari landasan pacu (s)

$a_1$  = Perlambatan rata-rata di udara (ft/s<sup>2</sup>) , biasanya 2 ft/s<sup>2</sup>.

$a_2$  = Perlambatan rata-rata di darat (ft/s<sup>2</sup>) , biasanya 4 ft/s<sup>2</sup>.