

# MANAJEMEN KAPASITAS RUNWAY

Dr.Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.

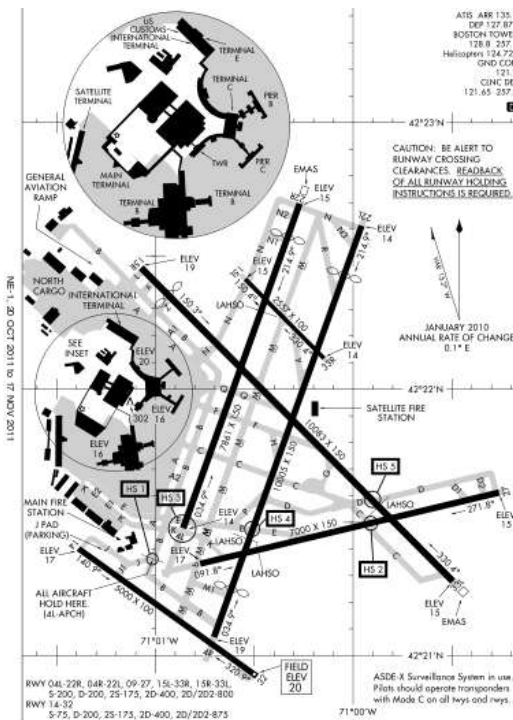
**MSTT - UGM**

## FAKTOR PENGARUH KAPASITAS RUNWAY

- Beberapa faktor pengaruh antara lain:
  1. Jumlah *runway*
  2. Pemisahan pesawat yang *landing* dan *take off*
  3. Komposisi jenis pesawat
  4. Pandangan dan *ceiling* (ketinggian awan terendah yang dikategorikan dalam awan yang merusak (berawan) dan awan mendung)
  5. Arah Angin
  6. Tipe dan lokasi *runway exit*
- Beberapa faktor penting akan dibahas lebih detail.

## 1. Jumlah Runway

- Semakin banyak jumlah *runway*, maka kapasitas semakin tinggi
- Namun, menambah *runway* di suatu bandara sangatlah sulit dan bahkan tidak mungkin
- Jumlah *runway* yang dimaksud adalah *runway* efektif yang bisa digunakan, karena tidak semua bandara mempunyai runway yang kesemuanya dapat digunakan pada suatu periode tertentu.
- Contoh:
  1. Di Boston airport dan Amsterdam airport, terdapat 6 *runway*, namun hanya dapat digunakan secara bersamaan pada saat jam sibuk maksimal 3 *runway*.

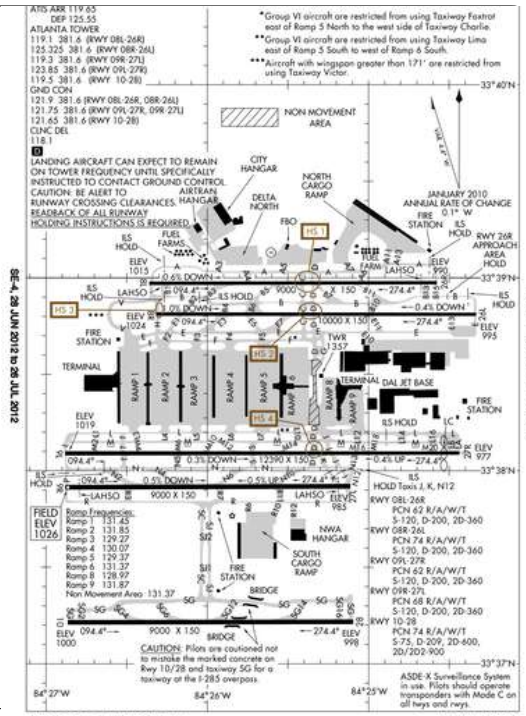


Direction	Runways		Surface
	Length		
	ft	m	
4L/22R	7,861	2,396	Asphalt
4R/22L	10,005	3,050	Asphalt
9/27	7,000	2,134	Asphalt
14/32	5,000	1,524	Asphalt
15L/33R	2,557	779	Asphalt
15R/33L	10,083	3,073	Asphalt

14 untuk *take off*  
32 untuk *landing*

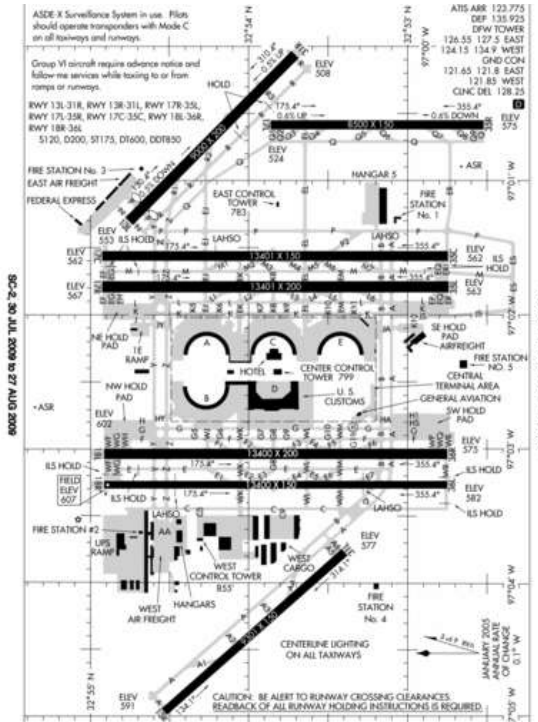
2. Di Atlanta airport, memiliki 5 runway dan semua bisa digunakan pada saat jam sibuk

Direction	Runways		Surface
	Length		
	ft	m	
8L/26R	9,000	2,743	Concrete
8R/26L	10,000	3,048	Concrete
9L/27R	12,390	3,776	Concrete
9R/27L	9,001	2,743	Concrete
10/28	9,000	2,743	Concrete



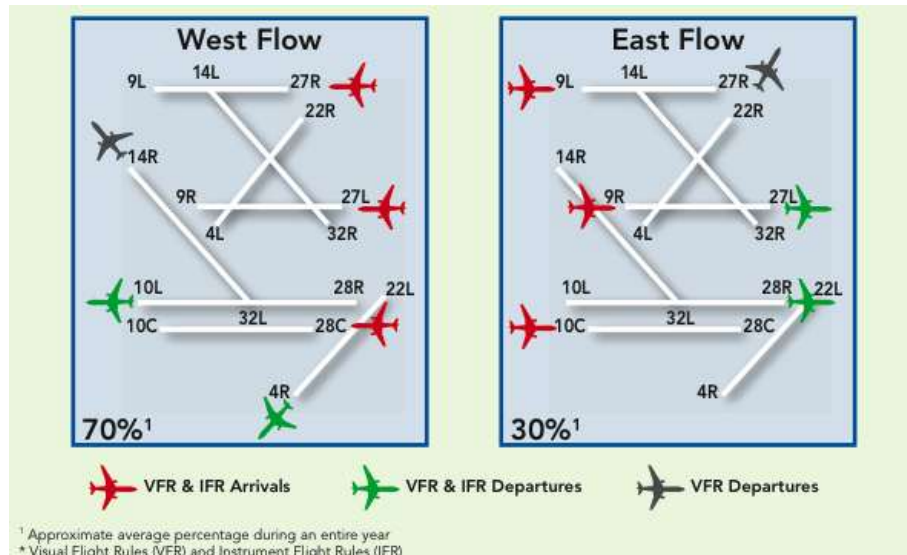
3. Di Dallas airport, memiliki 7 runway, bisa digunakan 6 atau bahkan 7 runway saat jam sibuk

Direction	Runways		Surface
	Length		
	ft	m	
13L/31R	9,000	2,743	Concrete
13R/31L	9,301	2,835	Concrete
17C/35C	13,401	4,085	Concrete
17L/35R	8,500	2,591	Concrete
17R/35L	13,401	4,085	Concrete
18L/36R	13,400	4,084	Concrete
18R/36L	13,400	4,084	Concrete



- Untuk bandara yang memiliki jumlah runway banyak, manajemen kapasitas dapat dilakukan dengan melakukan konfigurasi *runway*, yaitu mengatur banyaknya pesawat yang *take off* dan *landing* pada setiap *runway*.
- Di Boston, dengan 6 runway dapat dilakukan 40 jenis konfigurasi

Sebagai contoh: melakukan kombinasi dengan pertimbangan arah angin dan sistem navigasi pesawat

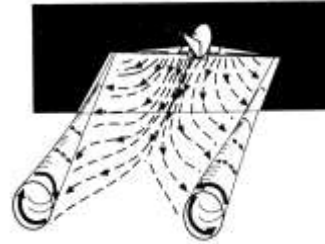


## 2. Pemisahan Pesawat yang Datang dan Pergi

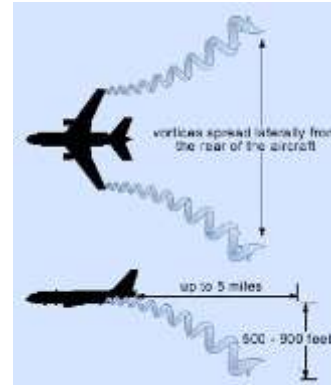
- Manajemen ini dilakukan dengan mengatur pesawat mana yang *take off* atau *landing* terlebih dahulu.
- Kombinasi bisa dilakukan dengan:
  1. *Landing (arrival)* diikuti dengan *landing (arrival)*
  2. *Landing (arrival)* diikuti dengan *take off (departure)*
  3. *Take off (departure)* diikuti dengan *take off (departure)*
  4. *Take off (departure)* diikuti dengan *landing (arrival)*

- Untuk menjaga keselamatan penerbangan, terdapat 2 syarat yang harus dipenuhi:
  - A. Kelas pesawat, yang didasarkan pada MTOW (*Maximum certified takeoff weight*):
    1. Berat (H: *Heavy*), jika MTOW > 255.000 lb (pound) atau 115.666 kg
    2. Besar (L: *Large*), antara 41.000 lb (atau 18.597 kg) – 225.000 lb
    3. Kecil (S: *Small*), < 41.000 lb
    4. Boeing 757, antara L dengan H
  - B. Jarak/waktu antara pesawat

- Kedua syarat tersebut diberlakukan untuk menghindari *wake turbulence* (*wake fortices*) pada pesawat yang di belakang



- Semakin besar MTOW pada pesawat, maka *wake turbulence* yang dihasilkannya akan semakin besar, dan kemampuan menerima *wake turbulence* pesawat yang didepannya semakin besar pula



## 1. Kedatangan diikuti Kedatangan

### A. Dengan metode jarak minimal

		Pesawat yang belakang		
		H	L + B757	S
Pesawat yang Depan	H	> 4	> 5	> 5 atau 6*
	B757	> 4	> 4	> 5
	L	> 2,5 atau 3	> 2,5 atau 3	> 3 atau 4*
	S	> 2,5 atau 3	> 2,5 atau 3	> 2,5 atau 3

- Satuan dalam nmi (nautical miles), 1 nmi = 1,85 km
- Jarak diukur dari pesawat yang depan berada di semua titik dalam *final approach*
- \* = jarak diukur dari pesawat yang depan berada di titik awal *runway*

B. Pesawat belakang bisa mendarat jika pesawat yang depan minimal sudah masuk ke *taxi way*

2. Kedatangan diikuti Keberangkatan

Jika pesawat yang baru saja mendarat minimal sudah masuk ke *taxiway*

3. Keberangkatan diikuti Keberangkatan

Dengan menggunakan waktu minimum (dalam detik) sebagai berikut

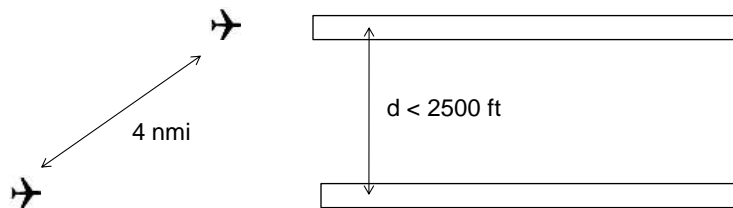
		Pesawat yang belakang		
		H	L + B757	S
Pesawat yang Depan	H	> 90	> 120	> 120
	B757	> 90	> 90	> 120
	L	> 60	> 60	> 60
	S	> 45	> 45	> 45

4. Keberangkatan diikuti Kedatangan

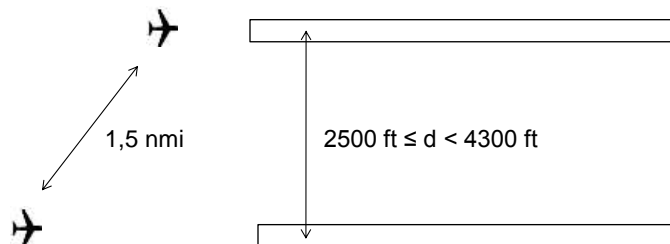
Pesawat yang akan *landing* minimal berjarak 2 nmi dari runway di saat pesawat yang akan berangkat sudah melakukan *take off*

Pesawat yang datang baru boleh menyentuh *runway* jika pesawat yang *take off* sudah meninggalkan runway

- Untuk kasus kedatangan diikuti dengan kedatangan, syarat tersebut juga berlaku meskipun terdapat 2 *runway* pada suatu bandara dimana jarak antar *runway* nya  $< 2500$  ft atau 765 m
- Contoh: Pesawat tipe H yang akan *landing* diikuti oleh pesawat tipe H yang juga akan *landing*



- Jika jarak antar *runway* nya antara 2500 ft – 4300 ft (1310 m), maka dapat digunakan jarak 1,5 nmi



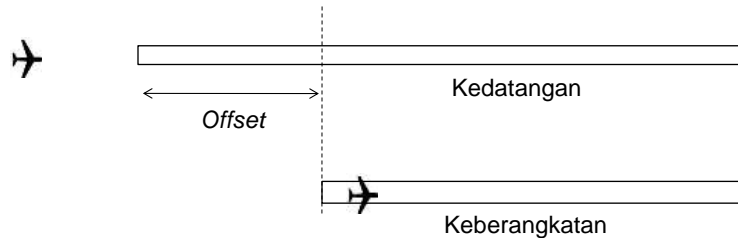
- Jika jarak antar *runway* nya  $> 4300$  ft (1310 m), maka kedua pesawat dapat *landing* atau *take off* bersamaan.



- Untuk lebih jelasnya, dapat digunakan tabel berikut.

	Datang - Datang	Berangkat – Berangkat	Datang – Berangkat	Berangkat - Datang
< 2500 ft	Seperti <i>runway</i> tunggal	Seperti <i>runway</i> tunggal	Sudah di titik awal <i>runway</i>	Sudah meninggalkan <i>runway</i>
2500 – 4300 ft	1,5 nmi	Bersamaan	Bersamaan	Bersamaan
≥ 4300 ft	Bersamaan	Bersamaan	Bersamaan	Bersamaan

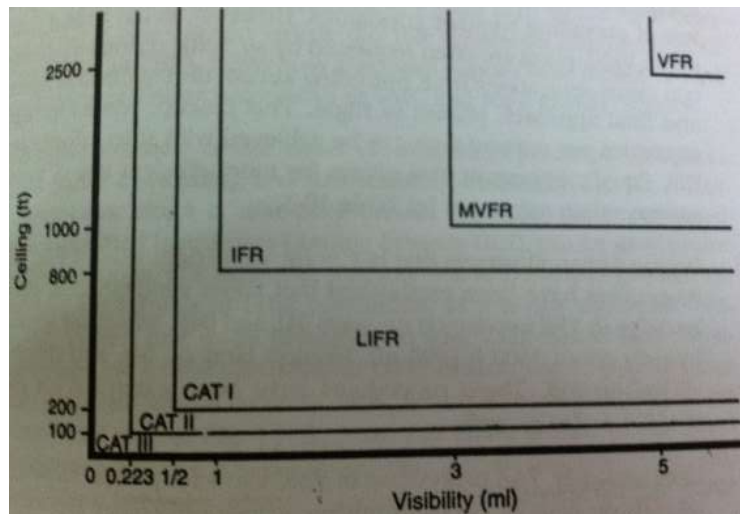
- Untuk mengefisiensinya, beberapa bandara membuat *offset* pada salah satu *runway*



- Setiap 500 ft (150 m) *offset*, maka jarak *centerline* (d) antar *runway* dapat berkurang 100 ft (30 m)
- Sehingga, jika ditentukan *offset* 1000 ft, maka standar d antara 2500 ft – 4300 ft dapat digunakan dengan hanya membuat jarak antar *runway* nya 2300 ft

### 3. Pandangan dan *Ceiling*

- Kapasitas *runway* sangat dipengaruhi oleh cuaca
- Pandangan (*visibility*) dan *ceiling* (ketinggian awan terendah yang dikategorikan dalam awan yang merusak (berawan) dan awan mendung) adalah 2 faktor penting untuk menentukan kondisi cuaca
- Oleh karenanya, perlu ditentukan pada saat kondisi (*visibility* dan *ceiling*) seperti apa pesawat diperbolehkan mendarat? dan dengan menggunakan bantuan seperti apa?



- MVFR = Marginal VFR (Visual Flight Rules)
- LIFR = Low IFR, meliputi CAT 1, 2, 3 = Kategori 1, 2, 3

ILS	Decision Height	Visibility atau RVR (Runway Visual Visibility)
CAT 1	60 m (200 ft)	Vis = 800 m (0,5 m) atau RVR = 550 m (1800 ft)
CAT II	30 m (100 ft)	RVR = 350 m (1200 ft)
CAT III – A	0 m	RVR = 200 m (700 ft)
CAT III – B	0 m	RVR = 50 m (150 ft)
CAT III – C	0 m	RVR = 0 m



- Contoh: *Boston Airport*
- Saat cuaca buruk (*low ceiling* dan *low visibility*) tidak bisa menggunakan runway 4R karena ketidakterediaan ILS di *runway* tersebut
- Saat cuaca baik (kondisi VFR dan MVFR) *runway* 4L dan 4R dapat digunakan bersamaan meskipun jaraknya hanya 1600 ft (pesawat nonjet di 4L, pesawat jet di 4R)

▪ LIFR



▪ IFR



## 4. Arah Angin

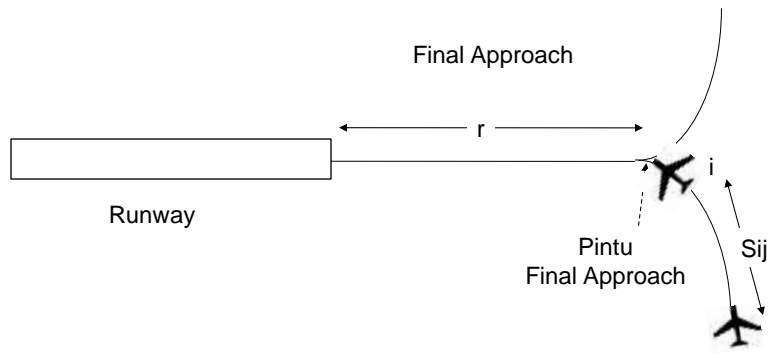
- *Runway* hanya dapat digunakan jika:
  1. *Crosswind* (angin yang tegak lurus dengan arah pesawat) dibawah batas yang telah ditentukan
  2. *Tailwind* (angin yang searah dengan arah pesawat) < 5 – 9 knots (9 – 11 km/j)
- Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *runway* sangat tergantung pada arah dan kekuatan angin.
- Jika arah angin dari utara, maka pesawat akan landing/take off dari arah yang berlawanan



### Contoh: Boston Airport

- Jika angin bergerak dari utara ke selatan, Boston airport mengoperasikan runway 04L dan 04R yang beroperasi/*takeoff* ke arah utara, dan begitu pula sebaliknya
- Jika angin bergerak dari utara sangat tinggi, maka *runway* yang dapat digunakan hanya 33R, dan hanya untuk pesawat non jet.
- Keadaan ini seringkali menyebabkan delay yang sangat tinggi, bahkan melebihi 2 jam

## MODEL MENGHITUNG KAPASITAS RUNWAY TUNGGAL



- $r$  = panjang final approach
- $S_{ij}$  = jarak minimum yang diperbolehkan antara 2 pesawat: pesawat  $i$  dan pesawat  $j$ )

- Waktu interval minimum ( $T_{ij}$ ) dihitung dengan:

1. Jika  $v_i$  (kecepatan pesawat depan)  $> v_j$

$$T_{ij} = \max \left[ \frac{r + S_{ij}}{v_j} - \frac{r}{v_i}, o_i \right] \text{ jika } v_i > v_j$$

2. Jika  $v_j$  (kecepatan pesawat belakang)  $\geq v_i$

$$T_{ij} = \max \left[ \frac{S_{ij}}{v_j}, o_i \right] \text{ jika } v_i \leq v_j$$

Dimana  $o_i$  adalah: waktu pesawat di *runway* (mulai dari mendarat sampai meninggalkan *runway* menuju *taxiway*)

- Jarak antar pesawat untuk *landing* (E) dihitung dengan:

$$E[T_{ij}] = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij} \times T_{ij}$$

Dimana  $p_{ij}$  adalah probabilitas *landing/takeoff* pesawat-i diikuti oleh pesawat-j

- Kapasitas *runway* ( $\mu$ ) dihitung dengan:

$$\mu = \frac{1}{E[T_{ij}]}$$

#### Contoh Soal (Hanya untuk kasus *landing*)

- Di Bandara Adisucipto, terdapat 4 jenis pesawat yang *landing*: Tipe H, L, S1, dan S2.
- Proporsi jumlah tipe pesawat yang akan *landing* adalah: H = 4 ; L = S1 = 7 ; S2 = 2
- Kecepatan masing-masing tipe pesawat yang akan *landing* adalah: H = 150 knot ; L = 130 knot ; S1 = 110 knot ; S2 = 90 knot, dimana 1 knot = 1 nmi/j = 1,15 mil/jam = 1,852 km/j
- Waktu yang dibutuhkan di *runway* (mulai dari *touch down* sampai masuk *taxiway*) untuk masing-masing tipe pesawat yang akan *landing* adalah: H = 70 detik ; L = 60 detik ; S1 = 55 detik ; S2 = 50 detik
- Panjang *final approach* adalah 5 nmi

- Jarak antara pesawat (sebagaimana yang sudah dijelaskan sebelumnya) adalah:

		Pesawat yang belakang		
		H	L	S1 dan S2
Pesawat yang Depan	H	4	5	6*
	L	2,5	2,5	4*
	S1 dan S2	2,5	2,5	2,5

\* = jarak diukur dari pesawat yang depan berada di titik awal *runway*

- Pertanyaan:** Hitunglah Kapasitas Maksimum *Runway*

### Jawab

- $T_{ij} =$

		Pesawat yang belakang			
		H	L	S1	S2
Pesawat yang Depan	H	96	?	?	?
	L	?	?	?	?
	S1	?	?	?	?
	S2	?	?	?	?

$$T_{H-H} = \max \left[ \frac{s_{H-H}}{v_H}, o_H \right] = \max \left[ \frac{4 \times 3600}{150}, 70 \right] = 96$$

- $P_{ij} =$

$$P_H = 4/20 = 0,2$$

$$P_L = P_{S1} = 7/20 = 0,35$$

$$P_{S2} = 2/20 = 0,1$$

		Pesawat yang belakang			
		H	L	S1	S2
Pesawat yang Depan	H	0,04	?	?	?
	L	?	?	?	?
	S1	?	?	?	?
	S2	?	?	?	?

$$P_{H-H} = P_H \times P_H = 0,2 \times 0,2 = 0,04$$

- $E [T_{ij}] =$

$$E[T_{ij}] = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_{ij} \times T_{ij} = (0,04 \times 96) + \dots = 103 \text{ detik}$$

- Artinya, jarak antar pesawat untuk *landing* adalah 103 detik, sehingga kapasitas maksimum *runway* per-jamnya adalah  $= 3600/103 = 35$  pesawat/jam



- Namun demikian, sangat sulit bagi pilot atau pemandu pesawat-j untuk menjaga dalam jarak  $T_{ij}$ .
- Untuk keamanan, sering pilot atau pemandu pesawat menjaga jarak dalam  $T_{ij} + b$
- Sebagai contoh: di US, IMC (*Instrument Meteorological Condition*) nya menentukan untuk melebihi nilai  $T_{ij}$  sebesar 10 – 25 detik

### Latihan (Tugas di Rumah)

Pada kasus yang sama dengan sebelumnya. berapa kapasitas *runway* jika:

1. Untuk alasan faktor keamanan, ditentukan nilai  $b = 10$  detik ?
2. Kondisi *airport* tidak begitu sibuk, sehingga ditentukan nilai  $s_{ij}$  adalah 3 nmi untuk L-H, L-L, S-H, S-L, S-S
3. Kondisi *airport* sangat sibuk, sehingga pesawat dipaksa untuk meningkatkan kecepatannya sebesar 130 knot untuk pesawat tipe S1 dan 110 knot untuk pesawat tipe S2.
4. Dibuat akses yang memudahkan pesawat meninggalkan *runway* menuju *taxiway*, sehingga terjadi dengan pengurangan sebesar 10 detik untuk semua jenis pesawat.

Hitung juga, berapa persen penurunan/peningkatan kapasitas *runway* nya